

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto



**Potencialidades do Campo Experimental em Lavra
de Minas da FEUP**

Luís Barroco Lopes Silva Martins

Dissertação realizada no âmbito do
Mestrado em Engenharia Minas e Geo-Ambiente

Orientador: Professor Doutor Alexandre Júlio Machado Leite
Co-orientador: Professor José Cardoso Guedes

04/07/2018

Agradecimentos

Deixo um agradecimento especial ao Professor Alexandre Leite, orientador do presente trabalho, pela disponibilidade demonstrada ao longo de todas as etapas de desenvolvimento do trabalho e pelo contínuo contributo para o enriquecimento do mesmo.

À empresa SOLUSEL, ao professor José Cardoso Guedes, co-orientador do presente trabalho e ao Engenheiro João Fernandes pela contínua disponibilidade prestada e pela oportunidade para trabalhar nas suas instalações na recolha de dados fundamentais para a realização deste trabalho.

À empresa O-Pitblast, em particular ao Francisco Leite, ao Vinícius Miranda e à Raquel Sobral, pelo tempo dispensado e conhecimento partilhado ao longo deste processo.

Ao meu amigo, colega e parceiro de trabalho, Alexandre Vasconcelos pela motivação e constante apoio, mesmo após a sua conclusão de curso.

Aos meus amigos e família pela presença constante na minha vida.

Resumo

Uma das áreas tradicionais do ensino da Engenharia de Minas da FEUP é denominada Lavra de Minas. Devido à importância que esta área tem para a formação de um Engenheiro de Minas, o Departamento de Engenharia de Minas da FEUP criou um Laboratório de Cálculo e Desenho em Lavra de Minas (LCDLaMi) e um Campo Experimental em Lavra de Minas (CELaMi).

Na presente dissertação, são demonstrados alguns procedimentos e metodologias essenciais para a caracterização do CELaMi, a simulação de um diagrama de fogo e seus resultados, bem como evidenciadas algumas das atividades de caráter técnico/didáticas que neste Campo Experimental podem ser levadas a cabo com Turmas de Estudantes de Unidades Curriculares da área da Lavra de Minas do Curso de Engenharia de Minas e Geo-Ambiente da FEUP.

Estas metodologias de caracterização de maciços inserem-se no ciclo de atividades de uma pedreira, afetando diretamente as operações de perfuração, de desmonte de rocha e afetam, também, indiretamente, os ciclos de carga e transporte do material desmontado.

Palavras-chave: Lavra de Minas, Geologia, Geomecânica, maciço rochoso, CELaMi, diagrama de fogo.

Abstract

A traditional field for FEUP's Mining Engineering is "Lavra de Minas" (Mining Operations). Due to the importance that this field holds for a mining engineer, FEUP's Mining Engineering Department created a Mining Operations Calculus and Design Laboratory (LCDLaMi) and a Mining Operations Experimental Field (CELaMi).

In this dissertation it's demonstrated some of the methodologies and proceedings essential for CELaMi characterization, blasting design simulation and its results, as well as some technical/didactic activities that can be practiced by Mining Operation students in CELaMi.

This rock characterizations methodologies are involved in the quarry activities cycle, directly affect rock drilling and rock blasting operations and, also, indirectly, the rock loading and carrying cycles.

Key words: Mining Operations, Geology, Geomechanics, rock mass, CELaMi, blasting design.

Índice

Capítulo 1 - Introdução	1
1.1 Enquadramento da Dissertação	1
1.2 Enquadramento da Pedreira da Madalena	2
1.3 Objetivos e Estrutura da Dissertação	4
Capítulo 2 - Geologia	6
2.1 Enquadramento Geológico e Petrográfico do Maciço de Lavadores	6
2.2 Plutonismo	7
2.3 Tectónica	8
Capítulo 3 - Modelo Digital do Terreno	11
3.1 Metodologia Perfilómetro Laser	11
3.2 Modelo Digital 3D	13
3.3 O Modelo da bancada experimental do CELaMi	14
3.4 Metodologia VANT	15
3.4.1 Introdução	15
3.4.2 Procedimento metodológico VANT para a construção de Modelos 3D	16
3.4.3 Legislação	19
Capítulo 4 - Caracterização da Frente Livre e Propriedades do Maciço Rochoso	20
4.1 Estrutura Geológica	20
4.2 Levantamento de fraturas	20
4.2.1 Estudo da fraturação	22
4.2.2 GeoRose	24
4.2.3 Stereonet	25
4.2.4 Discussão de resultados	27
4.3 RQD	27
4.3.1 Introdução	27
4.3.2 Determinação do RQD	29
4.4 Martelo de Schmidt	31
4.4.1 Introdução	31
4.4.2 Procedimento do ensaio in-situ	32
4.4.3 Ensaio de campo e resultados obtidos	33
4.4.4 Discussão de Resultados	35
Capítulo 5 - Planeamento de Diagramas de Fogo	39
5.1 Enquadramento com a bancada da pedreira da Madalena	40

5.2	Boretrak.....	41
5.3	Projeção de um diagrama de fogo na plataforma O-Pitblast	43
Capítulo 6 - Análise de Granulometria de Material Desmontado		47
6.1	Análise de Imagem Wipfrag	48
6.2	Resultados Obtidos	49
Capítulo 7 - Conclusões e Atividades de Complemento dos Temas Abordados		53
Capítulo 8 - Código de Conduta e Segurança para o CELaMi		54
8.1	Enquadramento Legislativo.....	54
8.2	Código de Conduta e Segurança para o CELaMi	54
Anexos		64
Anexo 1.....		64
Anexo 2.....		679

Índice de figuras

Figura 1 - Moinho da pedreira da Madalena	3
Figura 2 - Bancada delimitada da pedreira da Madalena (CELaMi)	4
Figura 3 - Secção da Carta Geológica 9-C (Porto), com localização da Pedreira da Madalena (círculo azul)	6
Figura 4 - Perfilómetro laser.....	12
Figura 5 - Campo Experimental em Lavra de Minas (CELaMi)	14
Figura 6 - Modelo 3D da bancada delimitada através da metodologia Perfilómetro Laser	15
Figura 7 - Levantamento topográfico através da metodologia VANT realizado pela Empresa Eye2Map	17
Figura 8 - Modelo da pedreira da Madalena obtido pela Empresa Eye2Map (25/01/2017), através da metodologia VANT	18
Figura 9 - Tipos de fraturas	21
Figura 10 - Bússola.....	23
Figura 11 - Diagrama de rosas em semicírculo	25
Figura 12 - Planos das fraturas e respetivos polos	25
Figura 13 - Diagrama de rosas	26
Figura 14 - Mapa de contorno dos polos dos planos	26
Figura 15 - Família de fratura subvertical 1 (a amarelo) e fraturas subhorizontais (a vermelho)	30
Figura 16 - Família de fraturas subvertical 1 (a amarelo) e família de fraturas subverticais (a azul).....	31
Figura 17 - Martelo de Schmidt.....	32
Figura 18 - Resultados do 1º ensaio de ressalto	34
Figura 19 - Resultados do 2º ensaio de ressalto	34
Figura 20 - Resultados do 3º ensaio de ressalto	34
Figura 21 - Sumário dos resultados obtidos	35
Figura 22 - Curva de relação R-MPa (Buyuksagisa et al., 2005)	37
Figura 23 - Representação geométrica das variáveis controláveis do desmonte (Hustrulid, 1999)	39
Figura 24 - Esquemas de perfuração em malha quadrada e em V, respetivamente	40

Figura 26 - Furos em malha em V, CELaMi, pedreira da Madalena	41
Figura 27 - Boretrak, modelo utilizado no CELaMi (Optron)	42
Figura 28 - Diagrama de fogo	42
Figura 29 - Diagrama de fogo e respetiva profundidade dos furos	43
Figura 30 - Sistema de detonação	45
Figura 31 - Sequência de detonação em forma de V	45
Figura 32 - Curva granulométrica obtida para o material desmontado	46
Figura 33 - Granulometria do material desmontado.....	46
Figura 34 - Representação de um degrau de Heaviside	47
Figura 35 - Imagem da 1ª pilha de material desmontado analisada pelo software Wipfrag	50
Figura 36 - Curva granulométrica obtida pelo software Wipfrag da 1ª pilha de material desmontado.....	50
Figura 37 - Imagem da 2ª pilha de material desmontado analisada pelo software Wipfrag	51
Figura 38 - Curva granulométrica obtida pelo software Wipfrag da 2ª pilha de material desmontado.....	51

Lista de tabelas

Tabela 1: Agrupamento das direções das fraturas	24
Tabela 2 - Classificação da designação da qualidade da rocha - RQD (adaptado de Deere, 1966)	28
Tabela 3 - Tabela dos diferentes ensaios e suas numerações (Buyuksagisa et al., 2005).....	36
Tabela 4 - Tabela de relação R-MPa (Buyuksagisa et al., 2005)	36
Tabelas 5 e 6 - Valores de carga de fundo e comprimento de carga de coluna estipulados ...	44

Capítulo 1 - Introdução

1.1 Enquadramento da Dissertação

Uma das áreas tradicionais da Engenharia de Minas da FEUP é denominada Lavra de Minas. Esta denominação é oriunda da Unidade Curricular (UC) Arte de Minas, já existente no Curso de Engenharia de Minas, formalmente constituído na Academia Politécnica do Porto pela Carta de Lei de 21 de julho de 1885.

Esta área da Engenharia de Minas aborda conceitos associados aos processos de extração dos recursos naturais minerais, que se estendem pela análise da geometria dos jazigos minerais, estudos de distribuição de teores dos minérios, comportamento geomecânico das rochas, planeamento mineiro, escavação de poços, rampas e galerias, metodologias de cálculo e de dimensionamento de diagramas de fogo para desmonte de rocha, técnicas de sustimento, minimização da diluição, sistemas de remoção (carga e transporte), ventilação, esgoto de água, fornecimento de energias e questões legais de higiene e segurança, entre muitas outras.

Devido à importância que esta área tem para a formação de um Engenheiro de Minas, o Departamento de Engenharia de Minas da FEUP (DEM) tem vindo a colmatar, nos últimos anos, algumas carências de carácter tecnológico no processo de ensino e aprendizagem do Curso. Entre estas carências destacam-se a falta de recursos para a prática de simulação em escala controlada de trabalhos didáticos e académicos necessários para a compreensão e conceptualização da prática da Lavra e a necessidade de criação de um espaço, em ambiente de exploração mineira, onde os estudantes possam desenvolver trabalhos à escala real.

Para corrigir estas debilidades o DEM criou um Laboratório de Cálculo e Desenho em Lavra de Minas (LCDLaMi) e um Campo Experimental em Lavra de Minas (CELaMi). Este primeiro (LCDLaMi) consiste num centro de processamento informático que alberga diversos softwares dedicados, disponibilizando postos de trabalho e meios de apoio ao cálculo e desenho em Lavra de Minas. Enquanto que o CELaMi é constituído por uma bancada delimitada, na Pedreira da Quinta do Moinho (Pedreira da Madalena) em Canidelo, Vila Nova de Gaia, onde seja possível implementar, com a segurança que se impõem, atividades relacionadas com a aquisição de dados, planeamento, controlo e otimização de desmontes com recurso a explosivos. A criação do CELaMi surge fruto de um Protocolo de Colaboração estabelecido em 2017 entre a FEUP e a SOLUSEL SA,

empresa proprietária do espaço onde este Campo Experimental está implantado, e reflete a excelente receptividade que esta empresa sempre teve para com iniciativas propostas pelo DEM ao longo de muitos anos de interação.

Propomo-nos, nesta Dissertação, apresentar uma caracterização do CELaMi, bem como evidenciar algumas das atividades de carácter técnico/didáticas que neste Campo Experimental podem ser levadas a cabo com Turmas de Estudantes de Unidades Curriculares da área da Lavra de Minas do Curso de Engenharia de Minas e Geo-Ambiente da FEUP.

1.2 Enquadramento da Pedreira da Madalena

A Pedreira da Quinta do Moinho, também conhecida como Pedreira da Madalena, iniciou a sua exploração em 1971, com o objetivo de fornecer balastro granítico para os Caminhos Ferro Portugueses e materiais de diversas granulometrias destinados a trabalhos de construção civil e obras públicas. Em Setembro de 1996, uma vez que a corta se aproximava da cota mínima autorizada por lei, a Solusel (Soc. Lusitana de Obras e Empreitadas, Lda), empresa detentora do alvará de licença de exploração, requereu e obteve autorização para funcionar, simultaneamente, como pedreira e aterro de resíduos inertes, resultantes quer da demolição de edificações e blocos habitacionais, quer de escavações. O licenciamento para esta atividade de deposição de resíduos constitui o atual Plano Ambiental de Recuperação Paisagística (PARP) que a empresa tem em execução.



Figura 1 - Moinho da pedreira da Madalena

Situada na freguesia de Canidelo, Vila Nova de Gaia, a pedreira da Madalena encontra-se numa localização privilegiada, a cerca de 500 metros do nó das Devesas, e dispõem de fáceis acessos permitindo o transporte rápido e económico de agregados e resíduos para e da Região do Grande Porto. Esta Pedreira forneceu material para diversas obras de elevada importância no panorama regional como a renovação da Linha do Norte, a ligação ferroviária Porto-Aveiro, o rebaixamento da Linha do Norte na cidade de Espinho, a renovação da Estação de Campanhã, a Ponte Ferroviária de São João, o Centro Comercial Arrábida Shopping e a Auto-Estrada A29.

Com a expansão urbana da freguesia de Canidelo e com a profundidade atingida da pedreira da Madalena, os trabalhos de desmonte de rocha foram terminados, passando a funcionar apenas como aterro de resíduos inertes. Este acontecimento permitiu usar a bancada referida anteriormente como espaço para o CELaMi.

No dia 26 de abril de 2017, foi renovado por mais 3 anos o Protocolo de Colaboração entre a FEUP e a Solusel, tendo-se, nessa altura, elaborado um aditamento (ver Anexo 1) a este Protocolo que veio precisamente criar o Campo Experimental em Lavra de Minas (CELaMi).



Figura 2 - Bancada delimitada da pedreira da Madalena (CELaMi)

1.3 Objetivos e Estrutura da Dissertação

O objetivo deste trabalho consiste na caracterização e demonstração das potencialidades do Campo Experimental em Lavra de Minas (CELaMi), bem como de algumas das valências que o Laboratório de Cálculo e Desenho em Lavra de Minas (LCDLaMi) alberga e que completam as atividades do Campo Experimental em análise.

Assim, a dissertação foi estruturada tendo em conta as duas etapas fundamentais que constituíram todo o trabalho de pesquisa e caracterização do CELaMi, planeamento e reflexão sobre os resultados obtidos.

A primeira fase de caracterização do CELaMi iniciou-se com uma descrição geológica do local e obtenção de um modelo digital 3D da bancada da pedreira da Madalena. Posteriormente foi realizada uma caracterização da frente livre e das propriedades do maciço rochoso, através de metodologias de levantamento de fraturas, determinação da qualidade da rocha através de ensaios RQD e martelo de Schmidt.

A segunda fase consistiu no planeamento de diagramas de fogo e uma análise granulométrica do material desmontado.

Este trabalho conclui com um complemento de atividades dos temas abordados e um código de conduta e segurança no CELaMi.

Capítulo 2 - Geologia

2.1 Enquadramento Geológico e Petrográfico do Maciço de Lavadores

A Pedreira da Madalena integra-se num maciço granítico, designado por maciço de Lavadores. O maciço de Lavadores aflora no litoral NW de Portugal, na praia de Lavadores, concelho de Vila Nova de Gaia, forma um batólito granítico de secção elíptica e alonga-se na direção NW - SE, até às Termas de S. Jorge, com cerca de 20 km de extensão por 4 km de largura máxima (Sant'Ovaia et al., 2014, Pereira et al., 2000). Este maciço instala-se na grande zona de fraqueza da sutura Cadomiana que estabelece a divisória entre o Complexo xisto-grauváquico, da Zona Centro Ibérica, e o Prêcambrico da formação de Lourosa, da Zona Ossa-Morena (Pereira et al., 2000). Posteriormente esta sutura é retomada com movimento transcorrente dextro, materializando a zona de cisalhamento Porto-Tomar (ZCPT) (Pereira et al., 2000). Na Notícia Explicativa da Folha 9-C, da Carta Geológica de Portugal, este maciço é descrito como sendo um granito oligoclásico biotítico, usualmente conhecido como granito de Lavadores.



Figura 3 - Secção da Carta Geológica 9-C (Porto), com localização da Pedreira da Madalena (círculo azul)

Em 2000, Eurico Pereira, Henrique Miranda e Alexandre Leite, recolheram amostras representativas da área da pedreira da Madalena, com o propósito de efetuar uma

análise petrográfica e química da rocha aí aflorante. Os resultados das análises petrográficas revelaram, através de uma observação macroscópica, que a rocha da pedreira da Madalena revela ser uma rocha granitóide, isotrópica, mesocrática, de granularidade média, com quartzo abundante, plagioclase bem desenvolvida e esparsos megacristais de feldspato potássico rosado que não ultrapassam os 3 cm segundo a maior dimensão (Pereira et al., 2000).

Após uma observação microscópica e identificação da composição mineralógica da rocha, Pereira et al. (2000), identificou a mesma como sendo um granodiorito biotítico, identificando como seus componentes essenciais o quartzo xenomórfico, plagioclase zonada com núcleos de andesina e bordos de oligoclase, feldspato potássico de dois tipos distintos e biotite verde e castanha. Como componentes subordinados foram distinguidos a magnetite, óxidos de ferro hidratados, apatite, zircão, alanite e rútilo, sendo a clorite um componente secundário (Pereira et al., 2000).

2.2 Plutonismo

Os granitos do tipo presente no espaço onde está instalado o CELaMi têm a sua génese posterior ao desenvolvimento da 3ª fase de deformação Varisca (D3), sendo considerados tardi a pós orogénicos, encontrando-se dispersos por vários pontos da Zona Centro Ibérica (Pereira et al., 2000), sendo que o maciço de Lavadores aflora no seu bordo noroeste (Sant'Ovaia et al., 2014).

A Zona Centro Ibérica é, segundo Azevedo e Valle Aguado (2006), o segmento da cadeia Varisca Europeia onde as rochas graníticas afloram em maior extensão e diversidade tipológica.

Inicialmente, estas rochas graníticas foram classificadas por Oen (1970), em dois grupos com base em critérios tectono-metamórficos, os granitos Older (mais antigos) e os granitos Younger (mais recentes). Ferreira et al. (1987), com base em relações temporais com a deformação, subdividem os granitóides variscos em quatro grandes grupos: ante-D3, sin-D3, tardi-D3 e pós-D3, sendo D1, D2 e D3 as principais fases de deformação compressivas do ciclo Varisco. Azevedo e Valle Aguado (2006) caracterizam os granitos Older como a série dos granitos de duas micas e alguns granitoides da série calco-alcalina, e os granitos Younger como os granodioritos e granitos biotíticos, tardi-pós-cinemáticos da série calco-alcalina.

Os granitoides tardi-pós-D3 formam maciços compósitos zonados (Azevedo e Valle Aguado, 2013), envolvidos por auréolas de metamorfismo de contacto, normalmente alongados na direção NNE-SSW e W-E, em harmonia com os principais sistemas de falhas (Pereira et al., 2000). Neste grupo incluem-se os granodioritos e granitos biotíticos não deformados, fraca a moderadamente peraluminosos e os granitos biotíticos-moscovíticos e de duas micas.

É possível, com base na compilação e reinterpretação de dados de geocronologia (Almeida et al., 1998; Azevedo et al., 2005; Valle Aguado et al., 2005; Antunes, 2006; LNEG, 2010), distinguir dois ciclos de atividade magmática plutónica varisca na ZCI, o primeiro ciclo com a instalação dos granitóides sin-D3 (≈ 330 -310 Ma), o segundo ciclo com a instalação dos granitóides tardi-pós-D3 (≈ 310 -290 Ma).

O maciço de Lavadores é formado por vários litotipos que ter-se-ão instalado por impulsos tectonomagmáticos subordinados ao relaxamento de tensões pós-D3 (Pereira et al., 2000). A estes granitóides tem sido atribuída uma idade compreendida entre 296-290 MA (Dias et al., 1998) marcando o início do período Pérmico.

O plutonismo granítico, de natureza subalcalina e origem profunda, mantélica ou basicrustal, tem características que o aproximam dos granitóides de Tipo A, anorogénicos (Pereira et al., 2000). O controlo estrutural que é possível estabelecer com base nas deformações impressas no encaixante metassedimentar, revelam que o maciço de Lavadores intruiu posteriormente à fase de deformação D3, tratando-se, então, de uma intrusão tardi a pós-orogénica (Pereira et al., 2000).

2.3 Tectónica

Identificaram-se três fases principais de deformação no ciclo varisco da ZCI (Ribeiro et al., 1990, Dias et al., 2013, Azevedo e Valle Aguado, 2013).

A primeira fase (D1) resulta da colisão da Laurásia com a Gondwana durante o Devónico (Dias et al., 2010), aos 360 Ma (Dallmeyer et al., 1997; Ábalos et al., 2002).

Após a instalação dos mantos alóctones e parautóctones, no final do Devónico Médio - Devónico Superior (Pereira et al., 1999), resultantes da primeira fase D1, o Maciço Ibérico apresenta uma instabilidade compensada na fase D2 pela instalação de

estruturas extensionais (Abálos et al., 2002; Valle Aguado et al., 2005), aos $333,3 \pm 2,2$ Ma (Dallmeyer et al., 1997; Valle Aguado et al., 2007).

A fase D3 atua durante o final do Carbónico e princípio do Pérmico (Martínez-Catalán et al., 2007), na fase final de reajuste entre Gondwana e Laurásia por deformação intracontinental, entre 306 e 287 Ma (Azevedo e Valle Aguado, 2006; 2013).

A ZCPT é afetada pelas deformações tardias, D3 e D4, que dão lugar a dobras com geometria aproximadamente cilíndricas, com planos axiais subverticais e eixos ligeiramente mergulhantes (Dias et al., 2013).

Nas etapas mais avançadas da fase D3, na cintura metamórfica Porto-Tomar, a deformação ocorreu nos domínios frágil-dúctil e frágil sob condições de baixa pressão e temperatura (Esteves, 2006).

Durante o final do Carbónico e início do Pérmico, já em regime frágil, a região noroeste do Maciço Ibérico foi mais afetada por tectónica de fratura, marcada esta, por famílias de falhas subverticais NNW-SSE a NNE-SSW e ENE-WSW a ESE-WNW (Arthaud e Matte, 1975; Marques et al., 2002). Este episódio tardi-orogénico terá resultado da movimentação da microplaca Ibérica em regime de cisalhamento direito, cujas direções de cisalhamento correspondem aos seus paleo-limites E-W setentrional e meridional, dando lugar na Ibéria à formação de falhas de desligamento esquerdo com direção aproximada NNE-SSW a NE-SW, segundo um modelo de dominó (Pamplona, 2001; Ribeiro, 2002; Ribeiro et al., 2007).

A ZCPT possui uma história complexa, no Westefaliano superior corresponde a um desligamento dúctil direito (Ribeiro, 1974), no Estefaniano superior a um desligamento frágil esquerdo, posteriormente ao Antuniano mas anterior ao Triássico a uma falha inversa com cavalgamento para Este (Ribeiro, 1979), durante o Meso-Cenozóico, corresponde a uma falha normal segundo o bordo do Fosso Lusitaniano, sendo provável que este jogo prossiga no Quaternário, uma vez que existem epicentros de sismos alinhados com o acidente (Ribeiro et al. 1980).

Com base em conhecimento geológico regional, na envolvente do granito de Lavadores, sobressaem dois sistemas de falhas importantes, um N 50 W, cavalgante para SW, e outro, N 50 E, subvertical com forte enchimento filoniano que chega a atingir dezenas de metros de espessura (Pereira et al., 2000).

O primeiro, inserido na faixa correspondente à ZCPT, com movimento transcorrente dextro e componente de cavalgamento para W, análogo aos cisalhamentos ativos da D1 à D3 hercínica (Pereira et al. 2000). Nas fases colisionais iniciais produzem um forte encurtamento crustal ao mesmo tempo que induzem o deslocamento dos mantos na superfície (Pereira et al. 2000). Na fase pós colisional (D3) a deformação intracontinental prossegue segundo cisalhamentos longitudinais paralelos aos bordos das placas continentais em confronto (Pereira et al. 2000). Estes cisalhamentos desenvolvem pares conjugados senestres com orientação ENE-WSW, controlam os dobramentos D3, comandam a instalação dos granitóides sin e tardi-tectónicos e representam grandes zonas de fraqueza da cadeia, suscetíveis de reativação nas fases frágeis posteriores ao metamorfismo hercínico e nas fases compressivas da orogenia Alpina (Pereira et al. 2000).

O segundo corta os granitóides instalados sin-D3, sendo caracterizado por fendas muito abertas e forte enchimento de quartzo, aplitos e pegmatitos (Pereira et al. 2000). Corresponde aos últimos impulsos da colisão em que os reajustamentos intracontinentais transcorrentes segundo cisalhamentos paralelos à sutura eram atenuados, mas prevaleciam as tensões de encurtamento crustal (achatamento) subperpendiculares, quer à sutura, quer aos grandes cisalhamentos de direção NW-SE (Pereira et al. 2000). Materializam os últimos estádios compressivos de D3, em que a componente de achatamento sobrepõe-se à componente cisalhante, devido ao bloqueio dos movimentos intracontinentais induzidos pelo metamorfismo e abundância de granitóides instalados sob controlo desta fase de deformação (Pereira et al. 2000).

Capítulo 3 - Modelo Digital do Terreno

Os processos modernos de otimização das operações de desmonte são, em geral, implementados sobre modelos manipuláveis da realidade morfológica e geológica das parcelas da crosta terrestre que se avaliaram como potenciais recursos para superação de carências detectadas no desenvolvimento social e tecnológico.

Estes modelos contemplam principalmente os denominados modelos digitais de terreno construídos recorrendo a diversas tecnologias disponíveis, sendo atualmente as não invasivas remotas as mais usadas nos contextos da extração mineira.

As técnicas não invasivas remotas, como a fotogrametria e topografia, desempenham, nos dias de hoje, um papel importante nas operações de extração mineira subterrânea e a céu aberto. No entanto, uma vez que os processos de uma pedreira ou mina são contínuos e dependentes do tempo, a fotogrametria e topografia necessitam de estar conciliadas com estes processos de modo a não os condicionar, permitindo atempadamente, fornecer as informações necessárias à otimização desses processos.

Os modelos digitais 3D, complementados pelos respetivos estudos geológicos, são essenciais para o cálculo de reservas, viabilidade económica, planeamento de exploração, estabilidade de taludes e para as inúmeras questões de segurança inerentes à atividade de uma mina ou pedreira (Aguilera et al., 2012).

3.1 Metodologia Perfilómetro Laser

Uma primeira tecnologia auxiliar à construção de modelos digitais de terreno baseia-se na obtenção de dados através do uso dos denominados perfilómetros laser. O perfilómetro laser pertencente ao grupo TLS (Terrestrial Laser Scanner) e faz uso da tecnologia LiDAR (Light Detection and Ranging).



Figura 4 - Perfilômetro laser

A tecnologia LiDAR permite obter, diretamente, através de pulsos de luz laser, medições de distâncias entre o scanner laser e o alvo refletor (Heritage et al., 2009). Esta tecnologia permite obter nuvens de pontos georreferenciados, da superfície do objeto amostrado, que, por sua vez, quando incorporadas em peças de software específicas, permitem construir modelos tridimensionais dessa mesma superfície.

O sistema LiDAR pode ser utilizado em plataformas aéreas (ALS - Airborne Laser Scanning), plataformas móveis (MLS - Mobile Laser Scanning) e em plataformas terrestres (TLS - Terrestrial Laser Scanning) (VosselMann et al., 2010). Os TLS são utilizados para caracterizar objetos específicos, com uma precisão de centímetros e são equipamentos tipicamente montados em tripés fixos ou outro tipo de suporte estacionário (NOAA, 2012).

LiDAR é uma tecnologia de detecção que mede o tempo que as reflexões dos feixes de luz emitidos levam a ser detetados por um sensor. Esta informação é utilizada para determinar distâncias a objetos. As coordenadas tridimensionais (x, y, z) do objeto alvo são determinadas através da diferença do tempo da emissão e receção do feixe

de luz, do ângulo em que o feixe de luz é emitido e recolhido e o posicionamento do equipamento LiDAR em relação à superfície da Terra (NOAA, 2012).

Existem diferentes tipos de sensores laser, cada um com diferentes especificações, adequadas para diferentes aplicações, que se regem pelos seguintes princípios: tempo de voo (Pulse-based), comparação de fase (Phase-based) e triangulação (Triangulation-based) (CALTRANS, 2011, ISRM, 2015). Os TLS utilizam a tecnologia tempo de voo e comparação de fase, enquanto que os lasers portáteis ou de mão aplicam a tecnologia de triangulação (ISRM, 2015).

Os lasers de tempo de voo determinam a sua distância em relação ao objeto atingido através do tempo de voo do feixe de luz e a sua velocidade (CALTRANS, 2011, ISRM, 2015). Este tipo de lasers é aplicado para modelar objetos a longas distâncias, uma vez que o seu alcance pode atingir os 1000 metros (CALTRANS, 2011).

Os lasers de comparação de fase, comparativamente com os lasers de tempo de voo, possuem um alcance máximo inferior, de 25 a 75 metros, no entanto são mais rápidos e precisos nas suas medições (CALTRANS, 2011, ISRM, 2015). Esta técnica de medição consiste em determinar a distância do laser ao objeto através do atraso de fase entre a onda harmónica emitida e a onda harmónica recebida (CALTRANS, 2011, ISRM, 2015).

Existem duas classes de tecnologias de deteção remota, que se diferenciam de acordo com a fonte de energia usada, os sistemas passivos e os sistemas ativos. Os primeiros detetam a radiação gerada por uma fonte de energia externa, como o Sol, os segundos geram a energia internamente, estes são os sistemas LiDAR (NOAA, 2012).

3.2 Modelo Digital 3D

A possibilidade de obtenção de modelos digitais 3D de uma pedreira apresenta-se como potenciadora de inúmeras vantagens uma vez que estes permitem (Evans et al. 2012):

- Documentar pormenores da morfologia da superfície da pedreira;
- Realçar traços de estruturas anisotrópicas do maciço rochoso;
- Calcular volumes de reservas e delimitar volumes a extrair;
- Fornecer informação pertinente para o dimensionamento de diagramas de fogo;
- Avaliar volumes de pilhas de material desmontado;
- Permitir o redimensionamento das estratégias sequenciais de extração;

- Auxiliar na reconfiguração dos espaços de carga e pistas de transporte;
- Etc.

3.3 O Modelo da bancada experimental do CELaMi

Neste capítulo são descritas as características e condições de levantamento do modelo 3D representativo da bancada delimitada, na Pedreira da Quinta do Moinho. Este modelo foi obtido através do perfilômetro laser Quarryman Pro desenvolvido pela empresa Renishaw.

Uma vez que esta tecnologia é recente e pouco aplicada no levantamento de perfis em pedreiras, não existem distâncias entre pontos padronizadas de acordo com o tipo de rocha e as suas características geomecânicas. Por este motivo, foi adotado um levantamento com varrimento horizontal com uma distância entre pontos de 0,5 metros.



Figura 5 - Campo Experimental em Lavra de Minas (CELaMi)

O modelo 3D foi obtido através da combinação de dois varrimentos distintos, não sendo possível obter o modelo completo com apenas um varrimento, devido à baixa capacidade de armazenamento de informação do equipamento utilizado. Através da plataforma O-Pitblast foi possível unir os dois perfis obtidos utilizando dois pontos fixos como referência.

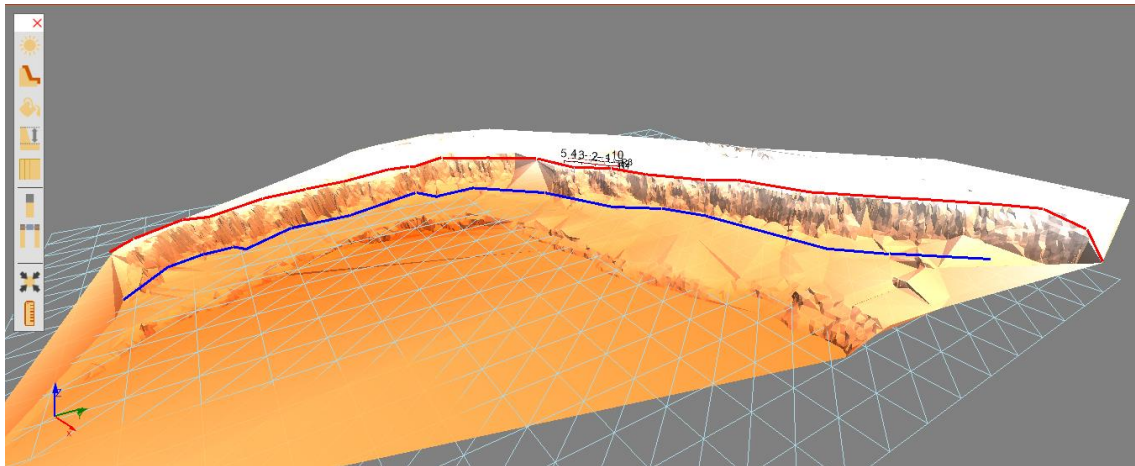


Figura 6 - Modelo 3D da bancada delimitada através da metodologia Perfilômetro Laser

3.4 Metodologia VANT

3.4.1 Introdução

Os Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT) começaram a ser desenvolvidos, em prática, no início da Primeira Grande Guerra Mundial. No entanto, o conceito surgiu há cerca de 2500 anos atrás, na Grécia e China.

Em 1916, foi demonstrado o primeiro veículo aéreo não tripulado chamado Hewitt-Sperry Automatic Airplane (Avião Automático de Hewitt-Sperry), nome de seus inventores (Konstantinos et al., 2012). Esta demonstração atraiu o interesse da Marinha dos Estados Unidos, devido às potencialidades militares que esta tecnologia apresentava, quer no armamento (UCAV - Veículo de Combate Aéreo Não Tripulado), quer no reconhecimento (VANT - Veículo Aéreo Não Tripulado), impulsionando um grande investimento nesta tecnologia. Este interesse resultou, em 1918, no desenvolvimento do Curtiss-Sperry Aerial Torpedo (torpedo aéreo Curtiss-Sperry).

Desde essa altura até ao presente os VANT desempenharam um papel importante em contextos de guerras que viriam a ter lugar, sendo que as suas potencialidades não militares só mais tarde foram descobertas.

O termo VANT entrou em uso geral no início dos anos 90 para designar o avião robótico, substituindo o termo Veículo Pilotado Remotamente (RPV), usado desde a Guerra do Vietnam (Newcome, 2004). Estes termos são apenas dois num conjunto de termos que já foram introduzidos para denominar as diferentes aeronaves robóticas. Estes termos são muitas vezes utilizados para descrever o que as aeronaves são e não

necessariamente o que elas fazem, como por exemplo os VANT, apesar de terem diversas utilidades, que se estendem da agricultura até cinematografia, devido à sua importância militar, estão normalmente associadas a tarefas de reconhecimento.

As aplicações dos VANT podem ser divididas em cinco categorias diferentes, militar, civil, comercial, académica e não lucrativa ou ligada a organizações não governamentais. Os VANT possuem as seguintes aplicações não militares:

- Energia - Monitorização de infraestruturas (Linhas de energia, tubulações, parques eólicos, refinarias, barragens...);
- Agricultura e Florestas - Rastreamento de animais, controlo de colheitas, monitorização e inventário florestal, aplicação precisa de pesticidas e herbicidas, combate florestal;
- Construção Civil - Análise aérea do local, monitorização do progresso da construção, investigação de danificações do edifício;
- Proteção Ambiental - salvaguarda de espécies em via de extinção, levantamento de incêndios, monitorização da qualidade do ar, monitorização de poluição de água;
- Respostas de Emergência e Polícia - Respostas humanitárias a desastres naturais, operações policiais;
- Fotografia e Filme;
- Ajuda ao Desenvolvimento - Sistemas de transporte para populações rurais ou com acessos limitados;
- Minas e Pedreiras - Levantamento topográfico, operações em minas subterrâneas.

3.4.2 Procedimento metodológico VANT para a construção de Modelos 3D

Os VANT podem ser considerados uma alternativa de mais baixo custo para a fotogrametria aérea clássica, substituindo os aviões e helicópteros, e um complemento para os métodos de levantamento a laser terrestre. A fotogrametria aérea aplicada à produção cartográfica divide-se em duas fases: a primeira, o voo fotográfico e a segunda, a georreferenciação das fotografias obtidas, segundo o referencial pretendido (Póvoa, 2014).

O voo fotogramétrico é planeado de modo a cobrir a zona que se pretende levantar, através de fotografias consecutivas verticais, utilizando câmaras métricas aéreas, que apresentem sobreposição, garantindo que a mesma zona de superfície seja captada em duas, ou mais, fotos distintas (Redweik, 2018).

A georreferenciação das fotografias obtidas tem por objetivo a localização geográfica do centro de projeção de cada fotografia e a respetiva orientação espacial através da atribuição das suas coordenadas e ângulos de rotação segundo um determinado referencial (Póvoa, 2014).



Figura 7 - Levantamento topográfico através da metodologia VANT realizado pela Empresa Eye2Map

Os VANT possuem a capacidade de obter uma grande quantidade de imagens (fotografias) rapidamente, para uma pequena área, a partir de baixas altitudes, de diferentes ângulos e para grandes áreas através de sobreposição de imagens. O processamento de imagens é facilmente executado através de um computador equipado com o software adequado e toda a metodologia drone é facilmente executada por um número reduzido de operadores, em intervalos de tempo reduzidos.

A metodologia drone segue a seguinte sequência (Filipova et al., 2004; Shahbazi et al., 2015; Salvini et al., 2016):

- Calibração do equipamento;
- Criação do plano de voo (podem ser usados diversos softwares para a sua criação, no entanto existem VANT's equipados com software apropriado para criar um plano de voo em movimento, após serem lançados);

- Obter as coordenadas absolutas para o ponto de partida, colocação de alvos definidos no plano de voo, lançar o VANT (início da recolha de imagens);
- Pré-processamento das imagens obtidas pelo VANT (aumento do ganho, remoção de sombras, detecção de alvos);
- Processamento fotogramétrico (criação de um Modelo Nuvem de Pontos, Modelo Digital de Superfície ou um Ortomosaico através da aplicação de uma transformação do modelo obtido);
- Obtenção de um modelo final.

A aplicação da metodologia drone para a obtenção de informação espacial georreferenciada apresenta vantagens e desvantagens quando em comparação com a metodologia do perfilómetro laser. A metodologia drone possui um fator de tempo, no mínimo, 2 vezes superior ao da metodologia laser, sendo que quanto maior for a área de estudo maior será este fator (Naumann et al., 2013). A resolução de ambos os métodos é bastante semelhante, no entanto a metodologia drone pode encontrar maiores dificuldades no que diz respeito à altura de recolha de imagens (quanto maior for a altitude menor é a resolução), no que diz respeito à reprodução da forma que o maciço rochoso possui (arestas salientes e falhas abruptas) e às obstruções provocadas pela vegetação (Naumann et al., 2013).

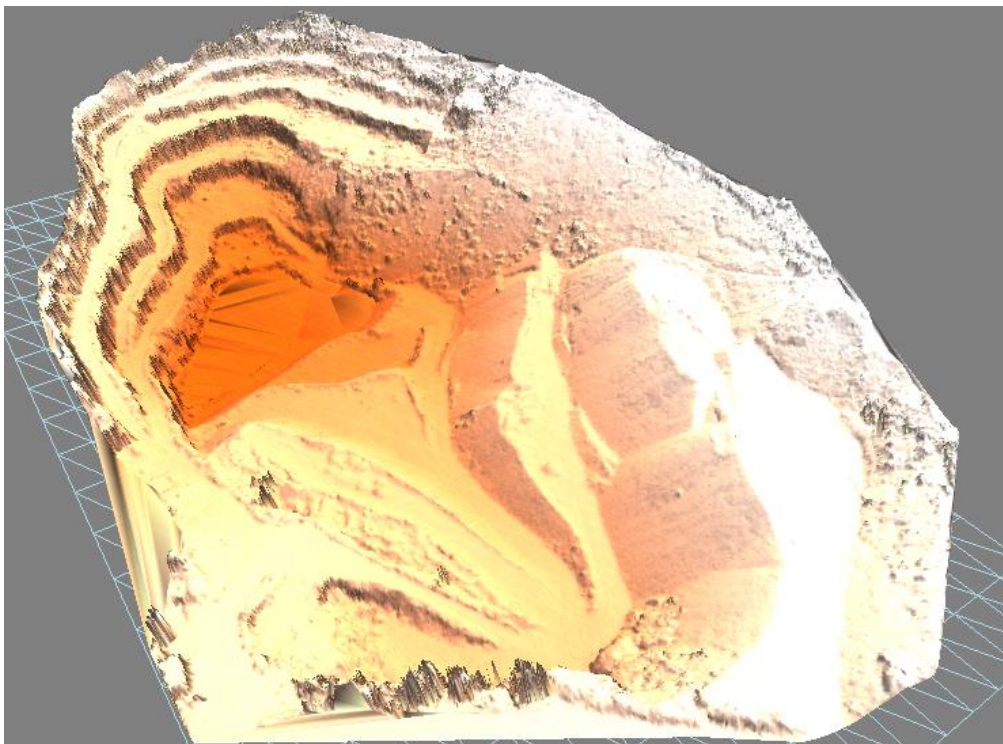


Figura 8 - Modelo da pedreira da Madalena obtido pela Empresa Eye2Map (25/01/2017), através da metodologia VANT

3.4.3 Legislação

Segundo a ANAC (Autoridade Nacional da Aviação Civil), a operação massiva e desregulada dos sistemas de aeronaves pilotadas remotamente (RPAS), ou drones, é suscetível de afetar negativamente a segurança operacional da navegação aérea, a segurança de pessoas e bens à superfície e permite a sua utilização na prática de atos de interferência ilícita. Embora não exista uma estrutura legislativa robusta desta atividade, quer a nível internacional, quer a nível europeu, existe um conjunto de normas aplicáveis à operação e utilização destas aeronaves em Portugal.

Para a regulação desta atividade foi desenvolvido o Regulamento n.º 1093/2016 que visa estabelecer as condições de operação aplicáveis aos RPAS, tendo em consideração as normas aplicáveis à organização do espaço aéreo e as regras do ar constantes do Regulamento de Execução (UE) n.º 923/2012, da Comissão, de 26 de setembro de 2012, que estabelece as regras do ar comuns e as disposições operacionais no respeitante aos serviços e procedimentos de navegação aérea.

Este Regulamento distingue as RPAS nas seguintes categorias:

- Aeromodelo - aeronave pilotada remotamente com uma massa operacional até 25 kg;
- Aeronave brinquedo - aeronave pilotada remotamente, não equipada com motor de combustão e com peso máximo operacional inferior a 0,250 kg;
- Aeronave não tripulada - aeronave que se destina a operar sem piloto a bordo, a qual tem capacidade para operar autonomamente ou ser pilotada remotamente;
- Aeronave de Estado - aeronaves usadas nos serviços militares, aduaneiros e policiais;
- Aeronave pilotada remotamente (RPA) - aeronave não tripulada que é pilotada a partir de uma estação de piloto remoto.

e define as regras gerais de operação e específicas para cada tipo de aeronave, sem criar obrigatoriedade do registo de drones, impor um seguro de responsabilidade civil ou criar um regime sancionatório.

Capítulo 4 - Caracterização da Frente Livre e Propriedades do Maciço Rochoso

4.1 Estrutura Geológica

Muitas das estruturas geológicas que afloram à superfície têm tradicionalmente características planares ou lineares (Twiss et al., 1992). Nas características planares estão incluídos os estratos, as fraturas, os planos de falha e descontinuidades (Twiss et al., 1992). Nas características lineares estão incluídos os sulcos e estrias, a interseção de duas características planares e a foliação das rochas (Twiss et al., 1992). Para representar estruturas não planares ou não lineares, como por exemplo, as dobras, é necessário medir um conjunto de planos ou linhas tangentes à estrutura (Twiss et al., 1992).

Definir a atitude de um plano ou de uma linha, ou seja, a sua orientação no espaço, é fundamental para caracterizar estruturas geológicas (Twiss et al., 1992). Para especificar as atitudes de planos ou linhas é necessário medir dois ângulos, o ângulo que a estrutura faz com o norte geográfico e com o plano horizontal (Twiss et al., 1992). A atitude de um plano é definida através da sua direção e inclinação, enquanto que a atitude de uma linha é definida pelo sua tendência e mergulho (Twiss et al., 1992).

A direção é o ângulo horizontal medido relativamente ao norte geográfico de uma qualquer linha horizontal da estrutura planar (Twiss et al., 1992). A inclinação é o declive de um plano e é definido pelo ângulo e a direção da inclinação. O ângulo de inclinação é o ângulo entre um plano horizontal e o plano da estrutura, medido num plano vertical perpendicular (Twiss et al., 1992).

4.2 Levantamento de fraturas

As fraturas são superfícies segundo as quais rochas e minerais partiram (Twiss et al., 1992). Estas fraturas ocorrem no nível estrutural superior (~0-15 km de profundidade), no domínio da deformação frágil (Rey, 2016).

A presença de água nas fraturas tem efeitos nefastos (Lima et al., 2012):

- A pressão da água reduz a estabilidade dos taludes;

- As variações do teor em água podem provocar uma meteorização química na rocha;
- O gelar da água provoca um aumento de volume e consequentemente uma fraturação da rocha;
- A erosão dos solos da superfície e preenchimento das discontinuidades, resultado da circulação da água, pode levar ao aumento da discontinuidade.

Os tipos de fraturas distinguem-se através do movimento que os blocos de rocha executam na sua formação (Twiss et al., 1992). As fraturas distensivas (tipo I) ocorrem quando os blocos de rocha se movimentam perpendicularmente relativamente ao plano de fratura (Twiss et al., 1992). Frequentemente este tipo de fraturas são cimentadas com minerais que precipitam da solução que preenche os poros da rocha, quartzo no caso de rochas ricas em sílica e calcite no caso de rochas ricas em carbonato (Rey, 2016). As fraturas de cisalhamento (tipo II e III) ocorrem quando os blocos de rocha se movimentam paralelamente ao plano de fratura, sendo que nas fraturas do tipo II os blocos movimentam-se perpendicularmente segundo a aresta da fratura e nas fraturas do tipo III movimentam-se paralelamente em relação à aresta da fratura (Twiss et al., 1992).

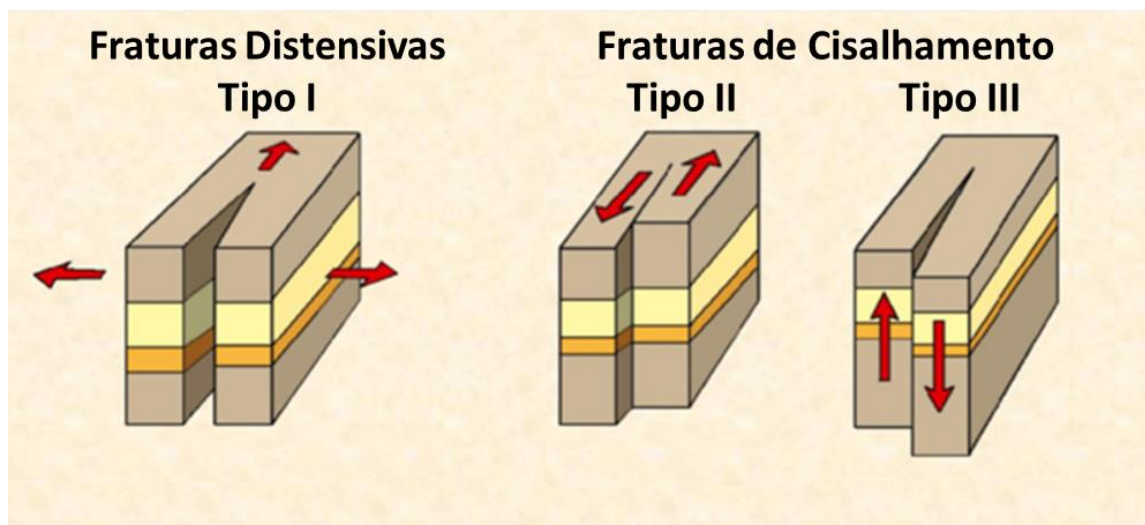


Figura 9 - Tipos de fraturas

As fraturas são características geológicas bastante comuns, raramente existindo um afloramento de rocha que não tenha fraturas, no entanto são de estudo difícil e normalmente ambíguo, uma vez que as fraturas são suscetíveis de reativação em eventos tectónicos posteriores e por este motivo podem não estar relacionadas com o tipo e o tempo geológico de formação da rocha (Twiss et al., 1992).

As investigações de fraturas abrangem quatro categorias de observações (Twiss et al., 1992):

- Distribuição e geometria do sistema de fraturas;
- Características superficiais das fraturas;
- Tempo de formação das diferentes fraturas;
- Relação geométrica das fraturas em relação a outras estruturas geológicas.

4.2.1 Estudo da fraturação

Para apresentar dados geológicos direcionais, é necessário realçar a distribuição das suas orientações, independentemente da sua localização geográfica (Twiss et al., 1992). É importante saber se os dados geológicos respeitam um padrão de orientações preferenciais (Twiss et al., 1992). Para tal são utilizados diferentes tipos de diagramas, como histogramas, diagramas de rosas e projeções esféricas (Twiss et al., 1992).

Os histogramas de orientação são projeções da direção dos dados geológicos e registos da frequência das orientações que são encontradas num determinado intervalo direcional (Twiss et al., 1992). Esta frequência pode ser expressa em percentagem ou número de observações dentro de cada intervalo (Twiss et al., 1992).

Os diagramas de rosas são histogramas em que o eixo de orientação é transformado num círculo dando uma perspetiva angular realista (Twiss et al., 1992). À semelhança de um gráfico circular, os diagramas de rosas dispõem os dados geológicos em intervalos angulares, normalmente de 10° , e o comprimento do raio é proporcional à frequência da orientação (Twiss et al., 1992; Lima et al., 2012).

Para o estudo de fraturas do Campo Experimental em Lavra de Minas, foram recolhidos 50 planos de fraturas de modo a obter as direções dos sistemas de fraturas e, a partir dos mesmos, associar os diferentes tempos de formação dos sistemas de fraturas. Para enfatizar a distribuição das orientações das fraturas foram utilizados os softwares Stereonet e GeoRose.



Figura 10 - Bússola

As atitudes dos planos de fratura foram registadas segundo a notação azimutal:

64°, 78° S;	66°, 82° S;	120°, 90°;	2°, 88° E;	32°, 80° E;
247°, 82° N;	102°, 78° S;	188°, 60° W;	13°, 85° E;	258°, 75° N;
0°, 90°;	215°, 85° W;	352°, 78° E;	252°, 88° N;	320°, 58° E;
61°, 85° S;	120°, 62° S;	0°, 85° E;	56°, 80° S;	202°, 80° W;
63°, 80° S;	312°, 83° N;	0°, 60° E;	138°, 64° W;	320°, 70° E;
87°, 90°;	0°, 87° E;	187°, 50° N;	54°, 90°;	220°, 72° W;
84°, 84° S;	10°, 87° E;	352°, 72° E;	48°, 85° S;	70°, 84° S;
250°, 87° N;	182°, 78° W;	86°, 72° S;	328°, 32° E;	348°, 86° E;
110°, 67° S;	90°, 82° S;	284°, 88° N;	170°, 78° W;	246°, 82° N;
58°, 80° S;	208°, 76° W;	78°, 84° S;	68°, 80° S;	242°, 86° N.

4.2.2 GeoRose

O software GeoRose foi utilizado para a obtenção de um diagrama de rosas detalhado, das direções das fraturas, que por sua vez permitiu a construção da tabela 1. A partir do diagrama de rosas foram realçadas quatro famílias de fraturas segundo as suas orientações.

Tabela 1: Agrupamento das direções das fraturas

Famílias	Direção	Direção das sub-famílias	Frequência
Família 1	N-S	N0° - 10° W	6%
		N0° - 10° E	16%
Família 2	ENE-WSW	N50° - 60° E	6%
		N60° - 70° E	16%
		N70° - 80° E	10%
		N80° - 90° E	6%
Família 3	NW-SE	N60° - 50° W	4%
		N50° - 40° W	4%
		N40° - 30° W	6%
Família 4	NNE-SSW	N10° - 20° E	4%
		N20° - 30° E	4%
		N30° - 40° E	4%
		N40° - 50° E	4%

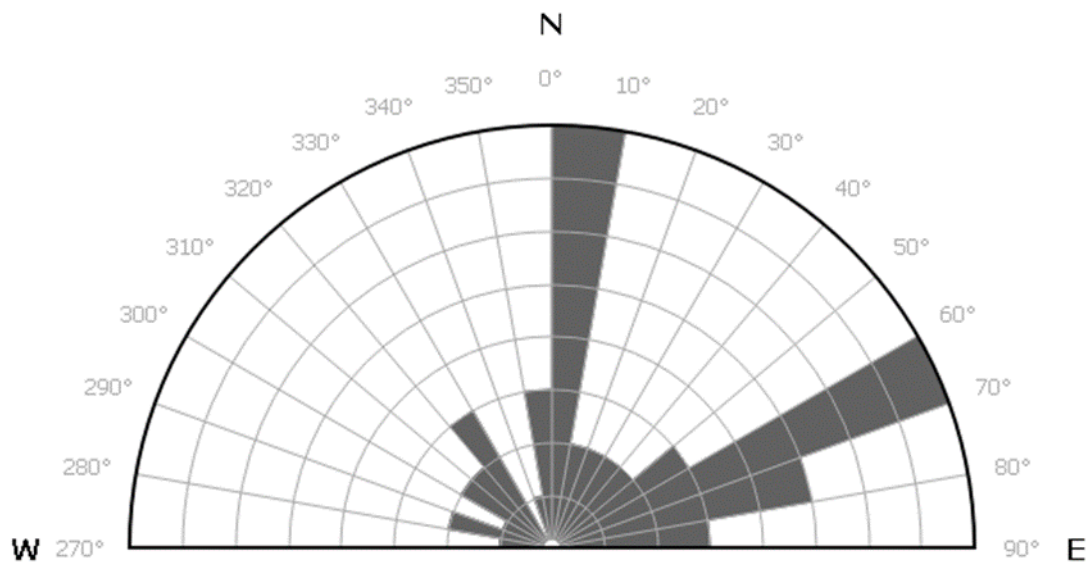


Figura 11 - Diagrama de rosas em semicírculo

4.2.3 Stereonet

O software Stereonet, como o próprio nome indica, permite projetar dados geológicos numa rede estereográfica.

Neste estudo, o software Stereonet foi utilizado para a projeção dos polos dos planos de fraturas e para a projeção do diagrama de rosas.

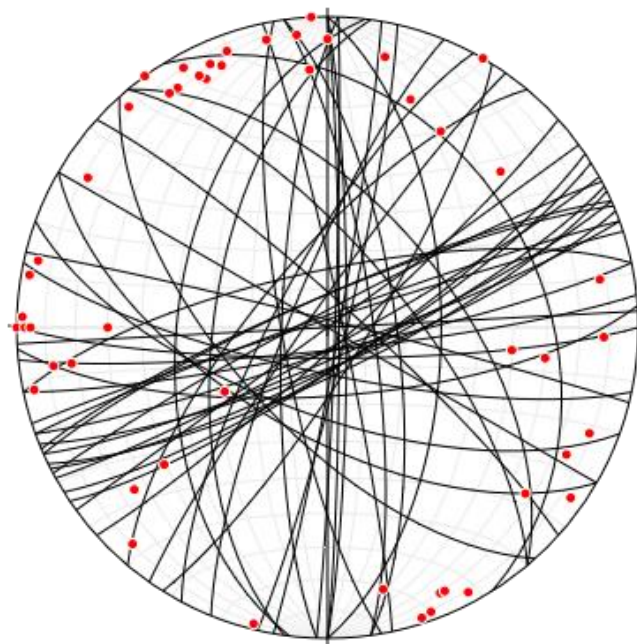


Figura 12 - Planos das fraturas e respetivos polos

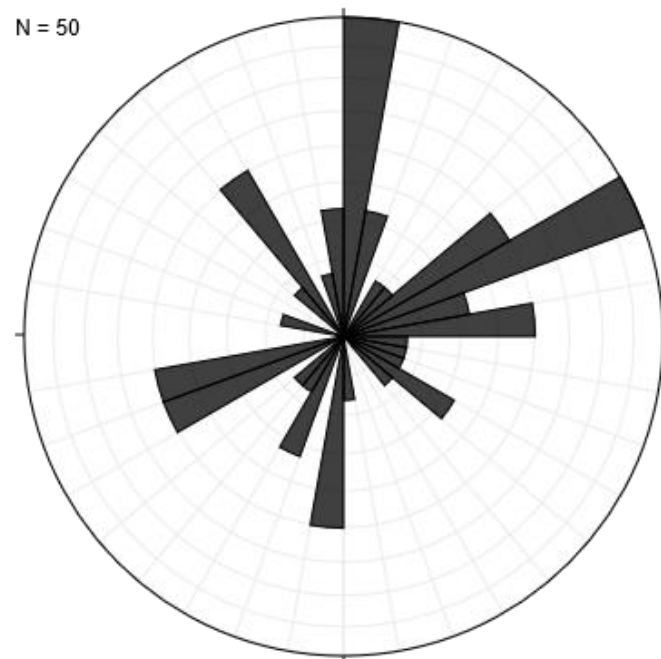


Figura 13 - Diagrama de rosas

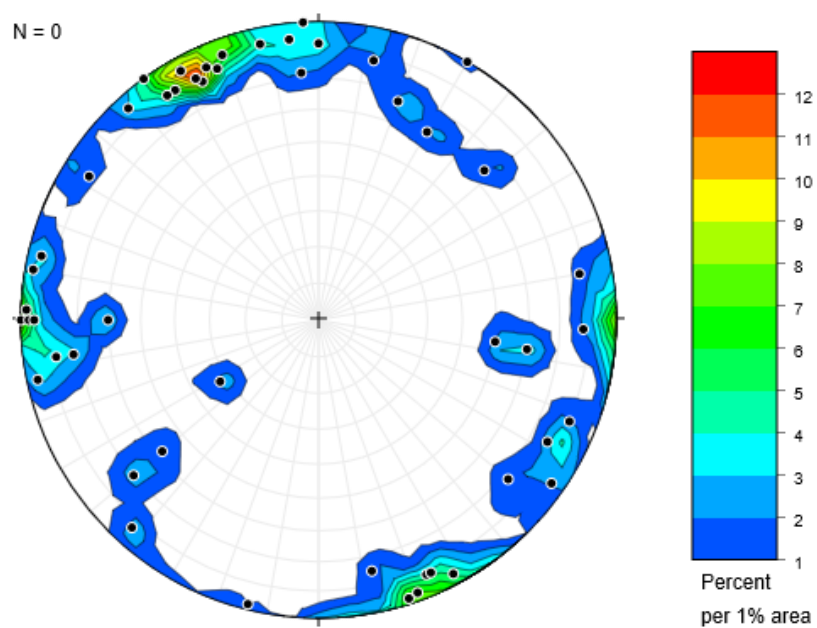


Figura 14 - Mapa de contorno dos polos dos planos

4.2.4 Discussão de resultados

Observando os valores obtidos é possível discriminar duas famílias de planos de fraturas, a família 1 e a família 2, que apresentam uma frequência elevada para os intervalos de orientação $N0^{\circ}$ - 10° E e $N60^{\circ}$ - 70° E, respetivamente.

Segundo Pereira et. al, as famílias de fraturas N-S a NNE-SSW (Família 1) e NE-SW a ENE-WSW (Família 2) resultam de reativação frágil tardi-Varisca (abordada no capítulo 2.4), Alpina e sub-atual.

A atuação das fases Alpinas sobre os sistemas do orógeno Varisca dividem-se em duas, uma precoce e uma tardia (Pereira et al., 2000). Este primeiro teve um impulso, provavelmente no Paleogénico, sendo compatível com a compressão Pirenaica NNE-SSW. Enquanto que o movimento tardio tem início no Miocénico superior, originado pela compressão Bética direcionada segundo NNW-SSE (Pereira et al., 2000).

A fase Atual corresponde a movimentos tectónicos mais tardios observados na região a Sul do Porto que afetam o maciço de Lavadores, que se atribuem ao movimento de uma falha coincidente com a ZCPT, também designada falha da Madalena (Pereira et al., 2000). Esta falha de abatimento normal com abatimento do bloco oeste pode ser atribuída ao relaxamento das tensões Béticas, ou ao campo de tensões Quaternário com tensão máxima W-E, relacionada com o início da subducção Atlântica (Ribeiro, 1988).

É necessário salientar que alguma da fraturação presente na bancada deve-se a atividade antropogénica, como o rebentamento de explosivos e em tempos recentes agravada pela presença de água.

4.3 RQD

4.3.1 Introdução

A designação RQD (Rock Quality Designation - Designação da Qualidade da Rocha) foi proposta por Deere, em 1963, como um índice de avaliação quantitativo da qualidade de uma rocha e desde então foi reavaliado diversas vezes (Deere 1963, 1989; Deere et al., 1967, 1988). Inicialmente concebido para aplicações na área de engenharia civil, como condições que um maciço rochoso oferece na atividade de tunelação e suporte necessário (Deere et al., 1988), foi rapidamente alargado para outras áreas da

mecânica das rochas e tornou-se um parâmetro fundamental para a engenharia geotécnica (Hoek and Brown 1980; Hoek and Bray 1981).

O índice RQD possui várias definições, sendo que a mais utilizada foi definida em 1967 por D. U. Deere e consiste na percentagem de peças do testemunho de sondagem de comprimento superior a 10 centímetros (l_i), medido no centro do mesmo, em relação ao comprimento total do testemunho (L).

$$RQD = \frac{\sum l_i(> 10cm)}{L} \times 100$$

Tabela 2 - Classificação da designação da qualidade da rocha - RQD (adaptado de Deere, 1966)

Classificação	RQD (%)
Muito Pobre	<25
Pobre	25-50
Razoável	50-75
Bom	75-90
Excelente	90-100

O índice RQD foi inicialmente desenvolvido para testemunhos de tamanho NX (54, 7 mm de diâmetro), que apesar de ser o tamanho otimizado, podem também ser usados testemunhos na gama de tamanho BQ a PQ, 36,5 mm e 88 mm, respetivamente (Deere et al., 1988). O mesmo com o comprimento limite de 10 cm, que apesar de ser o comprimento utilizado por motivos de padronização e comparação de ensaios, foi sugerido por Heuzé, em 1971, em que o comprimento limite seria o dobro do diâmetro do testemunho. É também recomendado que o comprimento do testemunho obtido não seja superior a 1,5 metros (Deere et al., 1988).

Este índice é popular entre engenheiros devido à sua simplicidade, no entanto tem as suas limitações (Deere et al., 1988; Lucian et al., 2013):

- São obtidos diferentes testemunhos para diferentes direções de perfuração de sondagem;
- A perfuração pode ser afetada pela resistência da rocha e pelo tamanho do testemunho;
- Fraturação da rocha provocada pela perfuração;
- Negligencia fatores como condições da água, tamanho das fraturas, alteração da rocha e índice de rugosidade (fatores corrigidos nos índices RMR e Q);
- Dependente do comprimento limite selecionado (habitualmente 10 cm) de rochas intactas.

Bieniawski, em 1973 e Barton et al., em 1974, fizeram uso do índice RQD para desenvolver novos sistemas de classificação. Estes sistemas têm em conta várias características do maciço que não são tidas em conta no sistema RQD, como as características das fraturas, a resistência à compressão da rocha, a tensão in situ, as condições da água, a orientação das fraturas, entre outros (Deere et al., 1988).

O índice RQD incorpora outros sistemas de classificação de maciços como o sistema RMR (Rock Mass Rating), o sistema Q, o sistema GSI (Geological Strength Index) e o sistema de classificação N. Se não existirem condições de recolha de testemunho e as fraturas do maciço sejam visíveis à superfície, o índice RQD pode ser estimado, para estes sistemas de classificação, através do número de fraturas por volume de rocha (Palmström, 1995).

4.3.2 Determinação do RQD

Para a determinação do RQD da bancada da Pedreira da Madalena aplicou-se o método de Palmström, uma vez que não foi possível realizar a recolha de um testemunho de sondagem. Deste modo a determinação do RQD baseou-se em observações de campo, o que afeta o seu grau de precisão.

Este método aplica dois conceitos que caracterizam o nível de fracturação do maciço rochoso, os quais consistem no tamanho do bloco e no espaçamento entre descontinuidades, estando os dois diretamente relacionados (Palmström, 1995). O espaçamento de descontinuidades define-se como a distância entre descontinuidades que pertençam à mesma família de fraturas (Palmström, 2001).

A função que nos permite determinar o RQD segundo Palmström (1995), é a seguinte:

$$RDQ = 115 - 3,3 J_v$$

Em que J_v corresponde ao índice volumétrico, definido segundo o somatório do número de descontinuidades de cada família (x), por unidade de comprimento (S_x):

$$J_v = \frac{1}{S_1} + \frac{1}{S_2} + \frac{1}{S_3} \dots + \frac{1}{S_x}$$

As discontinuidades aleatórias podem ser incluídas nesta expressão assumindo um espaçamento (S_r), que por experiência pode ser definido: $S_r = 5 \text{ m}$. Assim a expressão do índice volumétrico (J_v) toma a seguinte forma:

$$J_v = \frac{1}{S_1} + \frac{1}{S_2} + \frac{1}{S_3} \dots + \frac{N_r}{S_r}$$

Em que N_r é o número de fraturas aleatórias observadas.

O conjunto de fraturas amostradas na bancada da pedreira da Madalena correspondem às duas famílias de fraturas subverticais, previamente discriminadas, e um conjunto de fraturas subhorizontais.

Os espaçamentos observados entre os conjuntos de fraturas foram os seguintes:

- Família subvertical 1 - 0,80 metros;
- Família subvertical 2 - 1,20 metros;
- Fraturas subhorizontais - 1,20 metros.

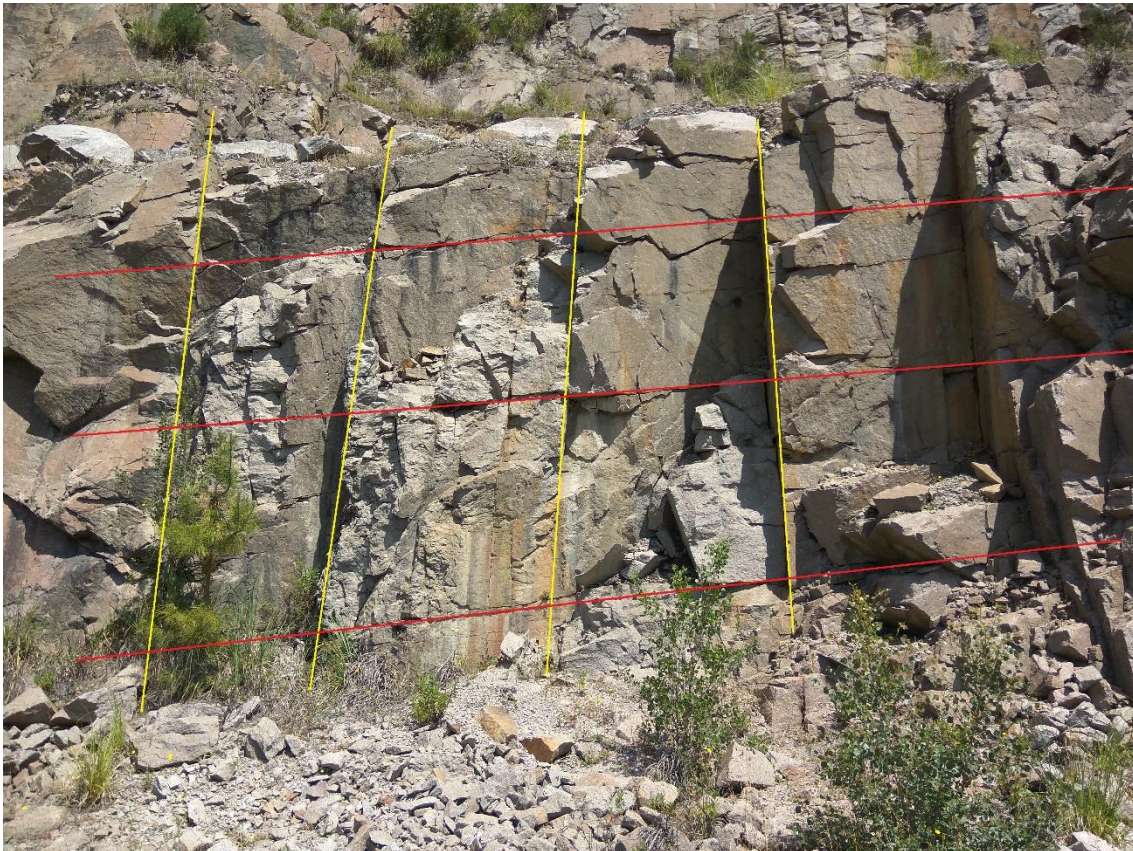


Figura 15 - Família de fratura subvertical 1 (a amarelo) e fraturas subhorizontais (a vermelho)



Figura 16 - Família de fraturas subvertical 1 (a amarelo) e família de fraturas subverticais (a azul)

Aplicando as expressões anteriores:

$$J_v = \frac{1}{0,80} + \frac{1}{1,20} + \frac{1}{1,20} + \frac{20}{5} = 6,917;$$

Sendo $N_r = 20$, as fraturas levantadas no capítulo 4.1.2, não pertencentes às famílias de fraturas 1 e 2.

$$RDQ = 115 - 3,3 J_v = 92,175$$

Com o RQD obtido através o método de Palmström, é possível classificar a rocha da bancada da pedreira da Madalena como sendo de excelente qualidade.

4.4 Martelo de Schmidt

4.4.1 Introdução

O martelo de Schmidt é um dispositivo que foi inicialmente desenvolvido, em 1948, pelo engenheiro suíço, Ernst Schmidt, com o propósito de determinar, de forma não

destrutiva, a dureza do betão. Hoje em dia este teste é utilizado para prever a resistência à compressão de uma rocha, o rendimento de uma tuneladora, velocidade de avanço de máquinas perfuradoras e avaliação de descontinuidades nas rochas (Güney et al., 2005).



Figura 17 - Martelo de Schmidt

Este equipamento pode ser utilizado in situ e no campo e consiste num pistão de mola que é libertado assim que o êmbolo é pressionado contra uma rocha (Aydin, 2008). A energia do impacto do pistão contra o êmbolo é amortecida pela rocha (de acordo com a sua dureza) e registada em percentagem do comprimento máximo atingido pela mola antes da sua libertação, em relação ao seu comprimento após o ressalto (Aydin, 2008).

Antes e após investigações de campo, devem ser verificados os valores de ressalto padrão do martelo de Schmidt, de forma a garantir que o equipamento se encontra calibrado (Aydin, 2008). Isto pode ser feito, para ensaios laboratoriais, através da leitura de dois valores consistentes na bigorna de testes, antes e após o ensaio de cada tarolo de sondagem, ou, para ensaios de campo, através do fator de correlação (CF):

$$CF = \frac{\text{Valores padrão especificados na ferramenta teste}}{\text{Média de dez valores lidos na ferramenta teste}}$$

que é aplicado a cada leitura para compensar a perda de rigidez da mola do martelo de Schmidt (Aydin, 2008).

4.4.2 Procedimento do ensaio in-situ

Segundo o ISRM (Sociedade Internacional de Mecânica das Rochas), para a realização de um ensaio de ressalto utilizando o Martelo de Schmidt é necessário cumprir as seguintes condições:

- Todas as superfícies de rocha testadas necessitam de se encontrar lisas e livres de poeira, por isso, nos ensaios de campo deve ser aplicada uma pedra abrasiva de grão médio de modo a polir superfícies irregulares;
- Em condições ideais a rocha testada deve estar seca ou saturada, caso não seja possível o grau de humidade deve ser registado;
- Os blocos ensaiados devem ter uma espessura mínima de 100 mm de modo a que a energia de impacto não se dissipe;
- O martelo deve ser colocado perpendicularmente à superfície da rocha para a realização do ensaio.

O ISRM sugere a recolha de 20 valores de ensaios de ressalto por cada bloco, no entanto este ensaio pode ser interrompido se algum dos 10 valores subsequentemente obtidos diferirem em 4 unidades.

4.4.3 Ensaio de campo e resultados obtidos

O equipamento utilizado para a realização de ensaios de ressalto na bancada da Pedreira da Madalena foi o RockSchmidt, da empresa suíça Proceq e o software utilizado para a recolha dos dados dos ensaios foi o Rocklink, da mesma empresa. O RockSchmidt é um martelo do tipo N, melhor para aplicações no campo, uma vez que é menos sensível às irregularidades da superfície da rocha (Aydin, 2008).

Foram executados três ensaios segundo o método do ISRM, sem interrupção, em três exemplares diferentes.

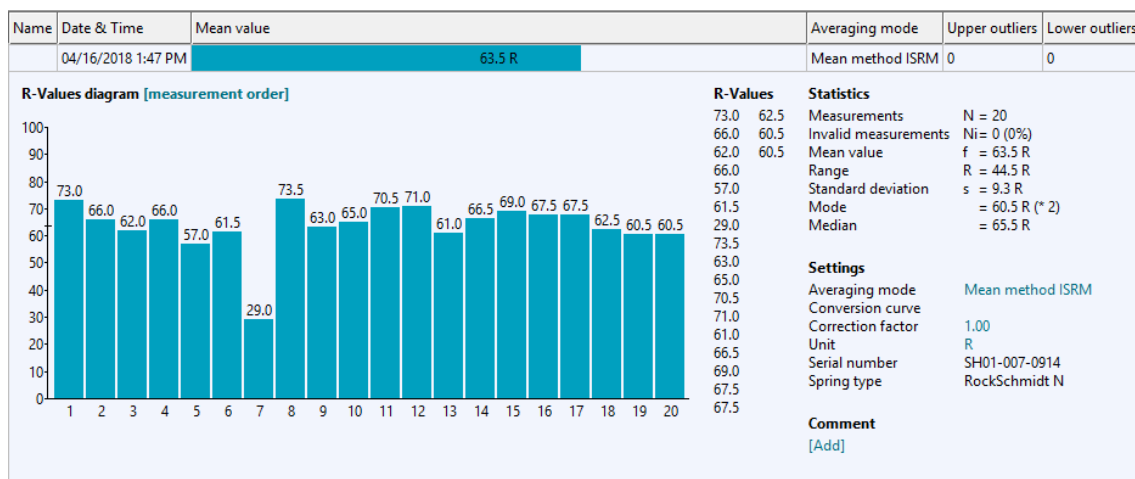


Figura 18 - Resultados do 1º ensaio de ressalto

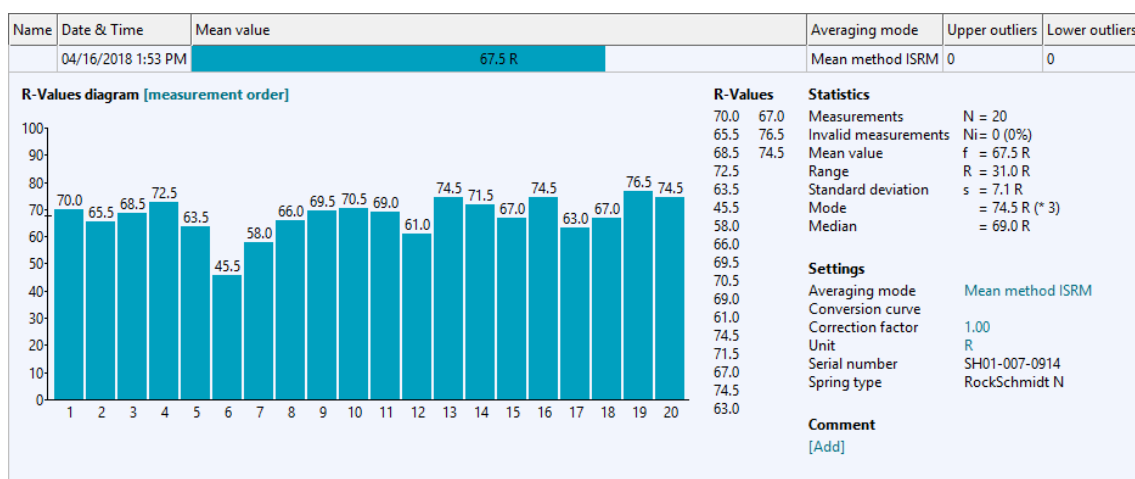


Figura 19 - Resultados do 2º ensaio de ressalto

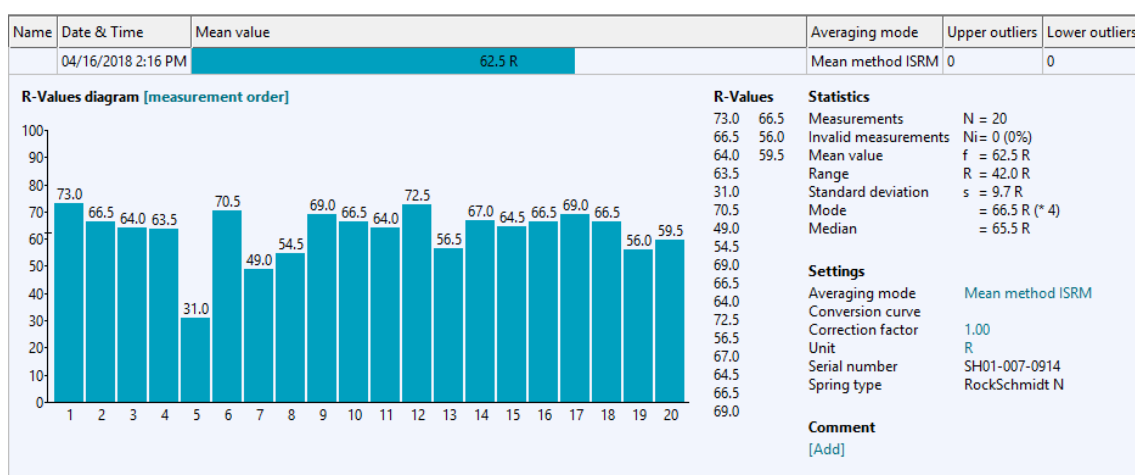
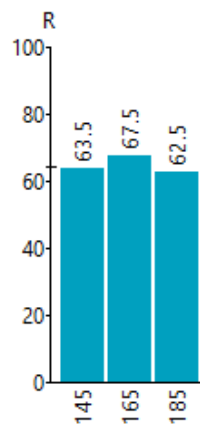


Figura 20 - Resultados do 3º ensaio de ressalto

Summary of Series

Diagram of series [ordered by name]



Values of series

62.5
67.5
63.5

Statistics of summary

Total used series N = 3
Invalid series Ni = 0
Mean value f = 64.5 R
Standard deviation s = 2.6 R

Settings of series

Averaging mode Unknown mean averaging method
Conversion curve 1.00
Correction factor R
Unit SH01-007-0914
Serial number 04/16/2018 2:16 PM
Date&Time

Comment

[Add]

Figura 21 - Sumário dos resultados obtidos

4.4.4 Discussão de Resultados

Os resultados obtidos, representados nas figuras 18, 19 e 20, apresentam uma uniformidade de resultados, à exceção de alguns tiros devido ao desagregamento de rocha no momento de execução do mesmo, como é o caso do tiro 7 (R=29), no primeiro ensaio, do tiro 6 (R= 45,5), no segundo ensaio e do tiro 5 (R=31), no terceiro ensaio. Uma vez que estes resultados são influenciados pela dureza, conectividade e distribuição dos elementos microestruturais mais fracos da rocha, os valores anómalos não devem ser descartados pois refletem a natureza heterogênea das propriedades mecânicas da rocha (Aydin, 2008).

O valor da média para cada um dos ensaios foi 63,5 R, para o primeiro ensaio, 67,5 R, para o segundo ensaio e de 62,5 R, para o terceiro ensaio, perfazendo uma média conjunta de 64,5 R.

Com a informação obtida nos ensaios de impacto e aplicando as tabelas e as curvas, desenvolvidas em 2005 por Buyuksagisa et al., é possível prever o valor da resistência à compressão da rocha em MPa.

Tabela 3 - Tabela dos diferentes ensaios e suas numerações (Buyuksagisa et al., 2005)

Table 2

The followed Schmidt hammer test procedures

Author/Institution	Test Procedure
(1) ISRM [39]	<i>Test Procedure 1:</i> Record 20 rebound values from single impacts separated by at least a plunger diameter, and average the upper 10 values.
(2) ASTM [40]	<i>Test Procedure 2:</i> Record at least 10 single impact readings, discarding those differing from the average by more than 7 units, and averaging those left.
(3) Poole & Farmer [32]	<i>Test Procedure 3:</i> Select the peak rebound value from five continuous impacts at a point. Average the peaks of three sets of tests conducted at three separated points.
(4) Hucka [43]	<i>Test Procedure 4:</i> Select the peak rebound value from 10 continuous impacts at a point. Average the peaks of the three sets of tests conducted at three separated points.
(5) Goktan and Ayday [33]	<i>Test Procedure 5:</i> Record 20 rebound values from 20 single impacts separated by at least a plunger Diameter. Reject outlier values by using Chauvenet's criterion, and average the remaining readings.

Tabela 4 - Tabela de relação R-MPa (Buyuksagisa et al., 2005)

Table 3

Rebound values and uniaxial compressive strength values of the tested rocks

Sample No.	Uniaxial Compressive Strength (MPa)	Schmidt hammer rebound value									
		L-type hammer					N-type hammer				
		RL1	RL2	RL3	RL4	RL5	RN1	RN2	RN3	RN4	RN5
1	292.0	63.1	61.1	66.7	70.2	61.1	81.6	79.6	82.7	83.2	79.6
2	168.0	57.9	55.9	60.2	59.3	55.9	71.2	70.0	73.0	73.6	70.2
3	155.9	56.5	54.5	58.7	59.0	54.5	68.1	66.1	68.5	69.5	66.1
4	134.1	51.6	49.8	57.5	60.5	49.8	60.7	57.7	64.5	66.0	57.7
5	159.9	50.9	47.8	53.7	56.5	47.8	67.0	64.2	70.2	71.0	64.2
6	161.5	58.2	56.2	60.5	63.5	56.2	66.5	63.6	70.7	71.5	63.6
7	77.7	50.9	48.9	51.2	52.3	48.9	58.5	56.7	58.2	59.0	56.7
8	56.5	47.5	45.5	46.2	48.5	45.5	52.5	50.5	56.2	56.7	50.8
9	40.8	33.3	30.4	32.5	35.5	29.9	40.1	37.4	45.0	45.5	37.1
10	65.9	45.7	43.6	48.2	52.5	43.6	54.1	52.0	55.7	57.0	52.0
11	90.5	52.7	49.7	51.2	54.5	49.7	59.0	56.9	61.2	62.0	56.9
12	55.2	38.6	36.5	42.5	43.0	36.5	48.5	46.6	53.2	55.0	46.6
13	51.9	36.7	33.7	38.7	39.2	33.7	44.7	42.6	50.7	53.2	43.0
14	36.4	41.4	38.8	42.7	43.0	38.4	47.5	45.4	48.5	49.5	45.4
15	59.3	43.3	40.6	45.5	46.0	40.3	51.2	48.5	52.0	52.5	48.2
16	56.9	45.2	42.5	48.5	49.0	42.1	51.6	49.0	52.5	52.0	48.6
17	69.8	47.2	45.6	52.2	54.5	45.6	55.3	53.5	56.0	56.2	54.1
18	58.0	43.6	40.5	46.0	46.5	40.4	50.6	48.8	51.0	51.5	49.2
19	33.1	39.7	37.2	40.2	41.0	36.7	45.3	42.2	47.5	48.0	42.1
20	46.9	42.2	39.6	42.5	43.0	39.2	49.5	47.6	50.2	49.5	47.9
21	74.7	45.7	41.8	48.2	49.0	40.7	55.8	52.8	57.0	57.5	52.8
22	31.9	34.5	32.2	36.2	37.0	29.2	42.2	40.3	42.5	43.0	40.3
23	67.0	45.6	42.6	49.2	48.7	42.6	55.6	53.6	56.2	55.5	53.6
24	49.0	41.9	40.7	44.7	47.5	41.0	50.4	48.2	52.0	53.5	48.2
25	44.5	40.2	37.9	45.5	46.5	36.1	52.7	50.4	54.2	54.5	50.4
26	50.9	43.4	41.3	46.7	47.0	41.3	53.2	50.7	54.2	56.5	50.3
27	18.4	30.3	27.9	32.5	33.0	27.9	40.1	37.4	40.7	41.5	36.8

*Numbers 1-5 (RL1-RL5, RN1-RN5) refer to the test procedures given in Table 2.

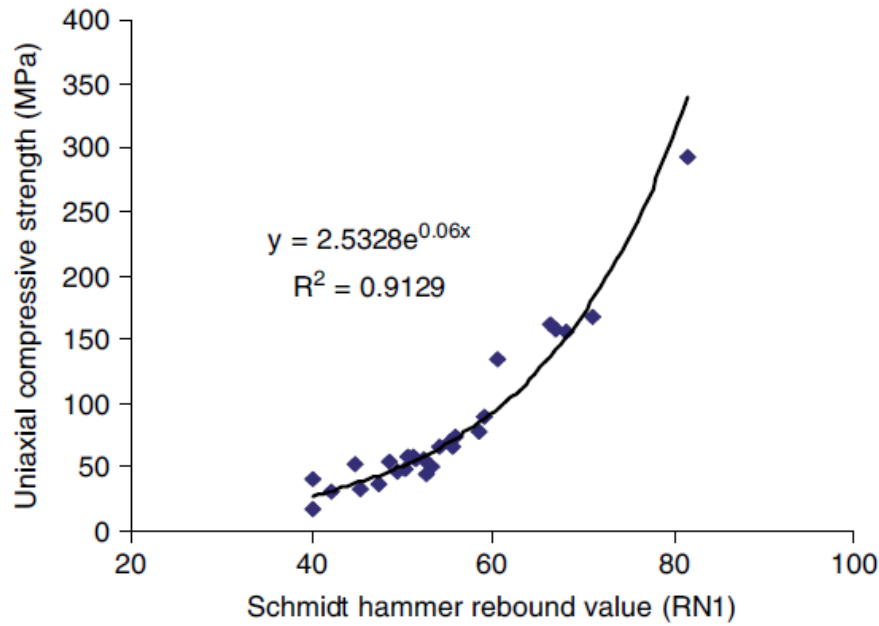


Figura 22 - Curva de relação R-MPa (Buyuksagisa et al., 2005)

A partir da curva de relação R-MPa, inferida através dos resultados dos ensaios registados nas tabelas 3 e 4, é possível determinar os valores para as resistências à compressão dos três ensaios realizados em três exemplares diferentes da bancada da Pedreira da Madalena.

$$\sigma_{c1}(MPa) = 2,5328e^{0,06R_1} = 2,5328e^{0,06 \times 63,5} = 114,357 MPa$$

$$\sigma_{c2}(MPa) = 2,5328e^{0,06R_2} = 2,5328e^{0,06 \times 67,5} = 145,3763 MPa$$

$$\sigma_{c3}(MPa) = 2,5328e^{0,06R_3} = 2,5328e^{0,06 \times 62,5} = 107,6974 MPa$$

$$\sigma_{ct}(MPa) = 2,5328e^{0,06R_t} = 2,5328e^{0,06 \times 64,5} = 121,4285 MPa$$

Os valores de resistência à compressão obtidos permitem-nos obter algumas conclusões. Para ensaios laboratoriais os valores de resistência à compressão de um provete de granito são superiores a 250 MPa, podendo variar consoante a porosidade da rocha (Bieniawski, 1974; Briševac et al., 2016). Os valores obtidos permitem-nos classificar os exemplares amostrados como tendo uma resistência à compressão muito elevada (R5) (Bieniawski, 1974; Briševac et al., 2016). O motivo para a discrepância de valores de resistência à compressão espectável e os valores de resistência à

compressão obtidos, para além do facto dos valores obtidos terem sido observados in-situ e não nas condições controladas de um ensaio laboratorial, e dos valores anómalos obtidos no decorrer do ensaio de impacto terem afetado os resultados, é expectável que a superfície das rochas amostradas, em virtude da pedreira se encontrar numa zona de elevada humidade, tenha sofrido um processo de meteorização química.

Capítulo 5 - Planeamento de Diagramas de Fogo

No planeamento de diagramas de fogo é necessário ter em consideração todas as variáveis que intervêm neste processo (Jimeno et al., 2017). Entre estas distinguem-se as variáveis controláveis e as não controláveis (Jimeno et al., 2017).

As variáveis não controláveis são aquelas que correspondem às características geomecânicas da rocha, por este motivo, estas, devem ser definidas o melhor possível para que os resultados obtidos de uma pega de fogo sejam os pretendidos (Jimeno et al., 2017). Para além das características geomecânicas, juntam-se também a presença de água e as condições atmosféricas às variáveis não controláveis (Jimeno et al., 2017).

As variáveis controláveis dividem-se em geométricas, químico-físicas dos explosivos e de tempo (Jimeno et al., 2017).

As variáveis controláveis geométricas são a altura de bancada (H), afastamento (B), espaçamento (S), comprimento do furo (L), subperfuração (J), tamponamento (T) e diâmetro do furo (D) (Reis, 2016).

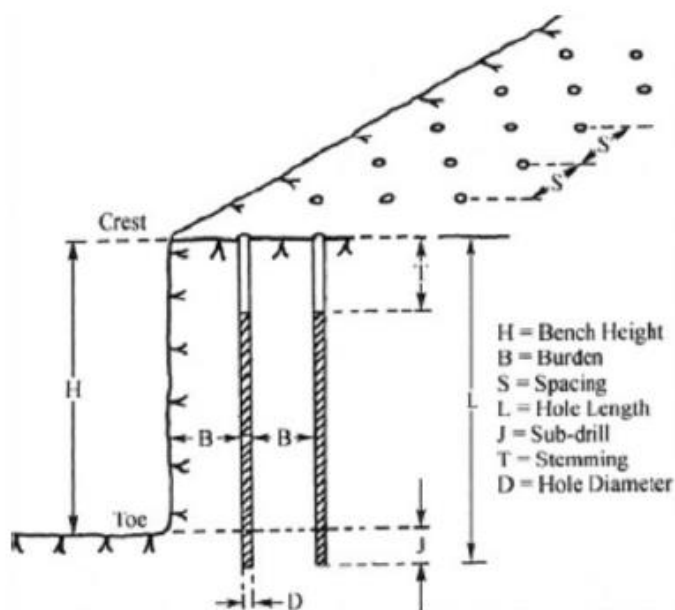


Figura 23 - Representação geométrica das variáveis controláveis do desmonte (Hustrulid, 1999)

Nos diagramas de fogo são utilizados dois tipos principais de esquemas de perfuração, os de malha quadrada e os de malha em V.

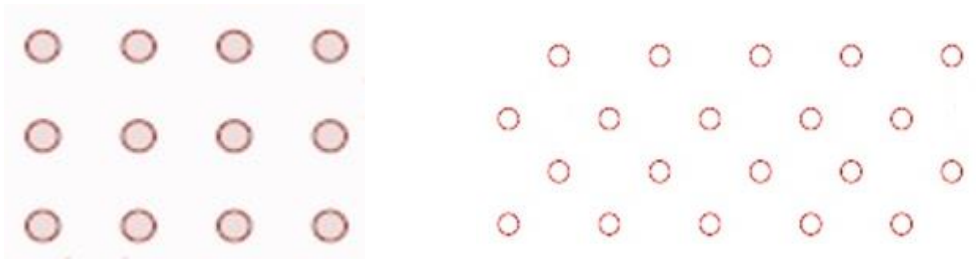


Figura 24 - Esquemas de perfuração em malha quadrada e em V, respetivamente

As variáveis químico-físicas dos explosivos estão relacionadas com as características do tipo de explosivo, carga, densidade e energia do explosivo.

As variáveis de tempo estão relacionadas como o tempo de retardo e tempo de iniciação.

5.1 Enquadramento com a bancada da pedreira da Madalena

No dia 21 de Setembro de 2017, a empresa Atlas Copco, para testar um equipamento de perfuração recentemente reparado, realizou a perfuração de um diagrama de fogo na bancada da pedreira da Madalena.



Figura 25 - Realização da perfuração no CELaMi, pedreira da Madalena

A malha de perfuração adotada foi em V e o diâmetro de cada furo foi de 76 mm. Foram perfurados 8 furos, cada um com uma inclinação desconhecida.



Figura 26 - Furos em malha em V, CELaMi, pedreira da Madalena

5.2 Boretrak

O Boretrak é uma sonda que permite realizar medições da inclinação do furo ao longo de intervalos de profundidade conhecidos. Este equipamento possui um inclinômetro e uma bússola digital, o que permite obter, para cada medição, a direção e posição real.

O equipamento utilizado no CELaMi para a medição do comprimento e inclinação dos furos foi um Boretrak com varas, de um metro cada, da empresa MDL.



Figura 27 - Boretrak, modelo utilizado no CELaMi (Optron)

Após a obtenção das inclinações dos 8 furos, números 1, 2, 7, 8, 9, 10, 13 e 14 (Figura 28), desenhou-se um diagrama de fogo completo, uma vez que os furos realizados pela Atlas Copco, não são suficientes, em termos práticos ou didáticos, para constituir um diagrama de fogo.

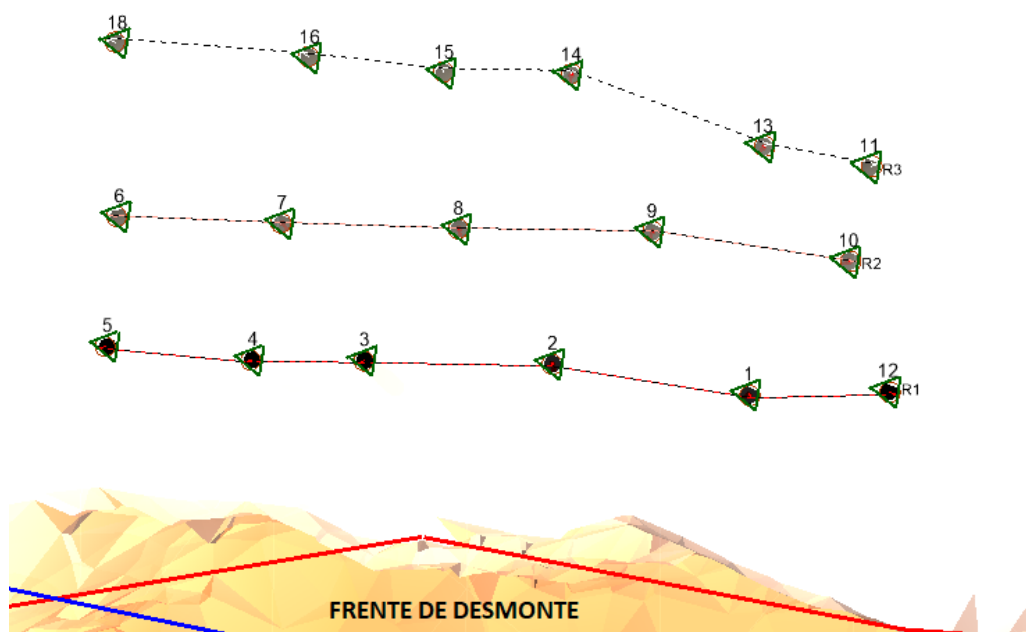


Figura 28 - Diagrama de fogo

5.3 Projeção de um diagrama de fogo na plataforma O-Pitblast

A partir do modelo 3D previamente obtido e o diagrama de fogo definido, a plataforma O-Pitblast permitiu simular uma pega de fogo na bancada da pedreira da Madalena.

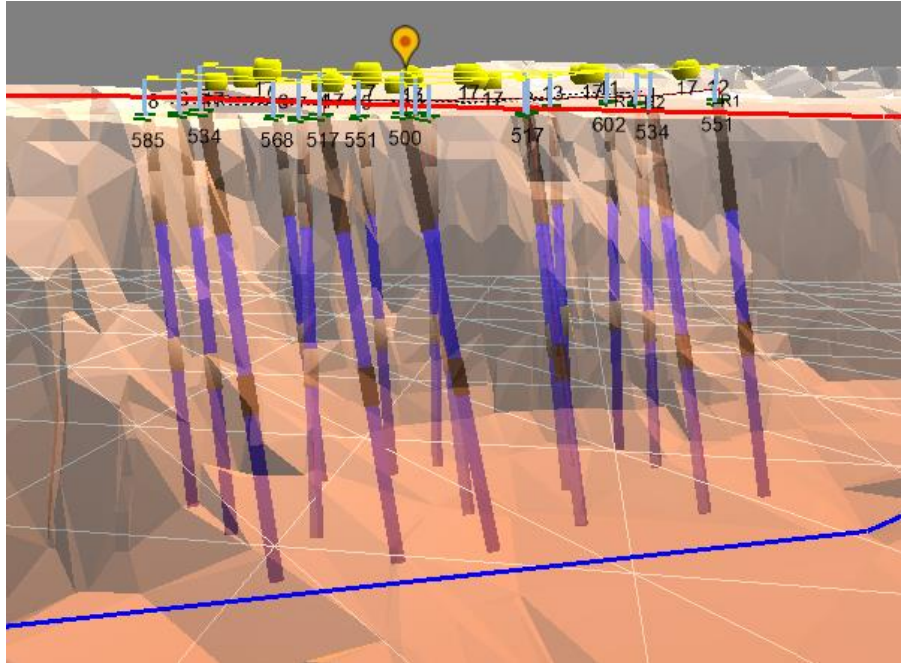


Figura 29 - Diagrama de fogo e respetiva profundidade dos furos

A seleção do tipo de explosivo depende das características da rocha, do diâmetro de carga, volume de rocha a desmontar, condições atmosféricas, presença de água e preço de explosivos (Jimeno et al., 2017).

O maciço da pedreira da Madalena, por ser uma rocha massiva resistente, com poucos planos de fraturas é necessária a aplicação de explosivos com elevada densidade e velocidade de detonação, como é o caso dos hidrogéis, emulsões e explosivos gelatinosos. Para este diagrama de fogo foi adotado uma emulsão de densidade 1,15 g/cm³, para carga de fundo e carga de coluna.

Para a determinação da carga de fundo e carga de coluna necessária para provocar a rotura da rocha foram aplicadas as seguintes expressões (Alonso et al., 2013):

$$Cf = \frac{\pi \times D^2 \times B \times d_e \times 100}{4000}$$

$$L_{CC} = L_b - 2,3 \times B$$

Sendo:

- Cf - Valor de carga de fundo;
- D - Diâmetro do furo;
- B - Afastamento;
- de - Densidade do explosivo;
- Lcc - Comprimento de carga de coluna;
- Lb - Comprimento total do furo.

Tabelas 5 e 6 - Valores de carga de fundo e comprimento de carga de coluna estipulados

Fila	Furos	B	Lb	Cf (Kg)	Lcc
1	1	3,54	10,34	18,46793	2,198
1	2	3,87	10,16	20,18951	1,259
1	3	2,98	10,14	15,54645	3,286
1	4	3,48	9,95	18,15491	1,946
1	5	3,55	9,97	18,5201	1,805
1	12	3,76	10,61	19,61565	1,962

D (cm)	7,6
de (g/cm ³)	1,15

Definidos os valores para a carga de fundo e carga de coluna, projetou-se o sistema de sequência de detonação. A sequência de detonação difere não só nos tempos de detonação de cada carga, como também na direção do material desmontado (Alonso et al., 2013).

Com uma correta sequência de detonação é possível maximizar os resultados de uma pega de fogo, conseguindo uma maior fragmentação de material, reduzir projeções e minimizar vibrações (Alonso et al., 2013).

Devido às características da frente livre da bancada a desmontar, optou-se por uma sequência de detonação em forma de V.

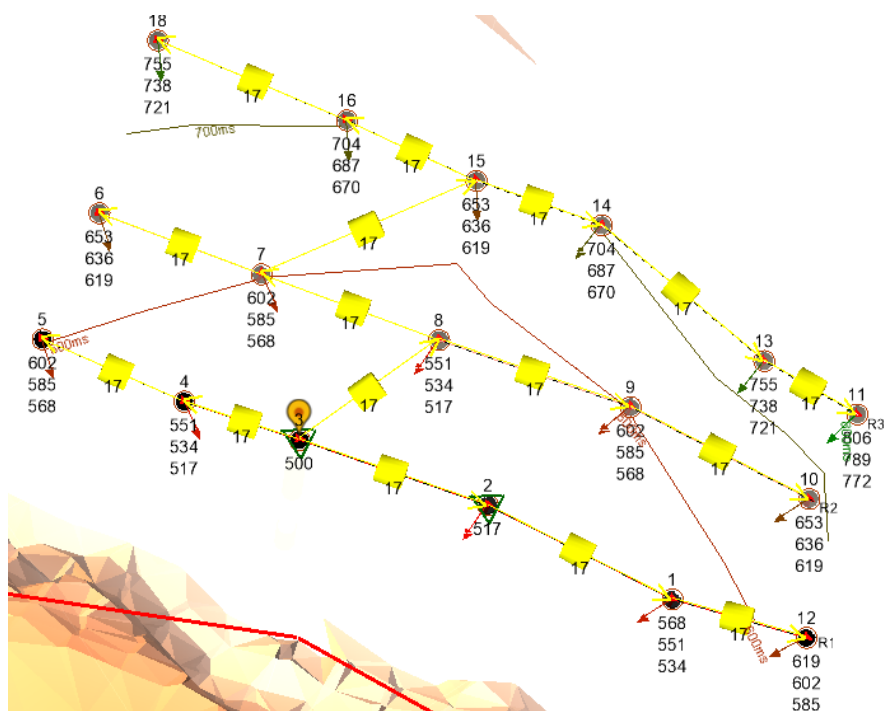


Figura 30 - Sistema de detonação

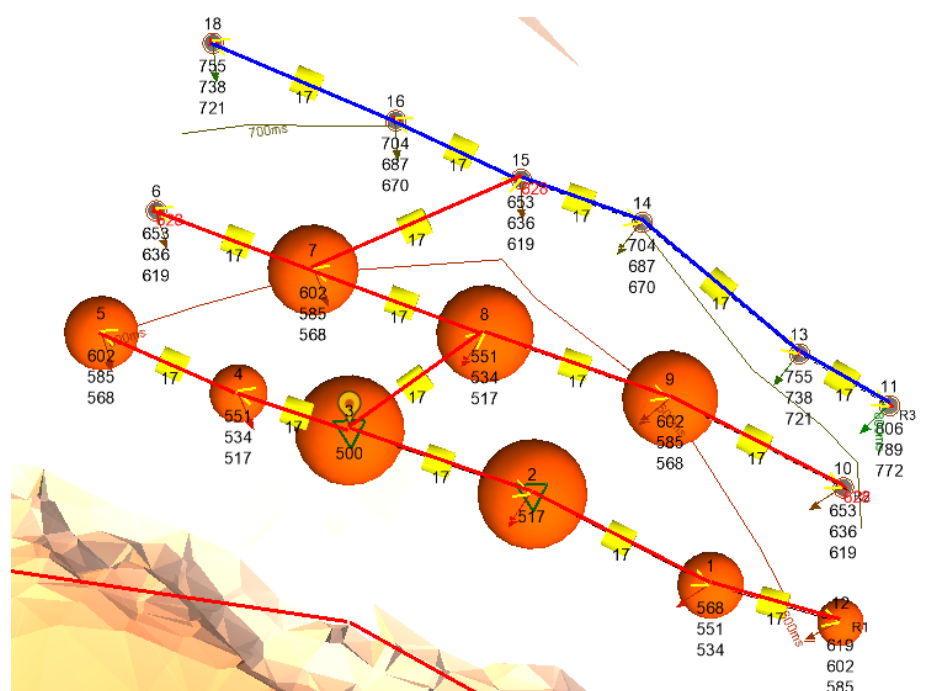


Figura 31 - Sequência de detonação em forma de V

Definido o diagrama de fogo, o software O-Pitblast permite a previsão da curva granulométrica do material desmontado.

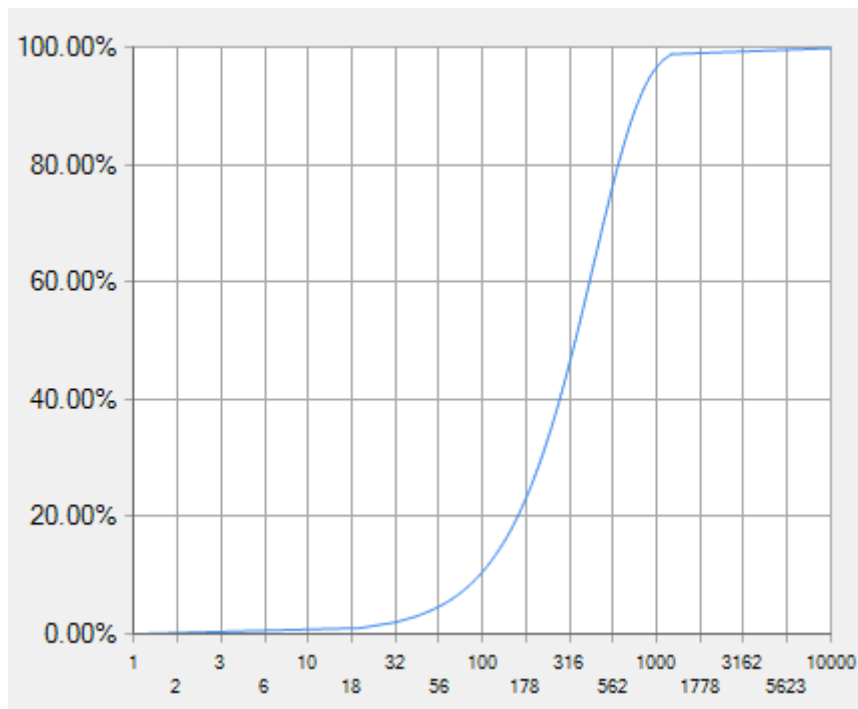


Figura 32 - Curva granulométrica obtida para o material desmontado

X20 (mm):	159	X80 (mm):	599
X50 (mm):	340	X90 (mm):	763

Figura 33 - Granulometria do material desmontado

Os resultados obtidos mostram uma granulometria relativamente extensa podendo os 8 furos iniciais terem sido executados relativamente afastados da frente livre, revelando-se difícil para o explosivo ter a capacidade de desagregar o material da bancada. As inclinações de perfuração e os diâmetros dos furos adotados também influenciaram o rendimento do diagrama de fogo.

Capítulo 6 - Análise de Granulometria de Material Desmontado

A característica mais importante do material desmontado, resultante de uma pega de fogo, é a sua granulometria (Jimeno et al., 2017). Uma vez que as pedreiras de rocha industrial fornecem empresas locais, devido ao baixo valor dos seus produtos e da necessidade de reduzir os custos de transporte, a granulometria do material desmontado precisa de ir ao encontro dos requisitos de mercado. Necessitando, ao mesmo tempo, ser flexível para preencher encomendas pontuais (Almeida et al., 2009).

Para produzir a granulometria desejada, evitando operações de britagem, é necessário otimizar a pega de fogo (Jimeno et al., 2017). A curva granulométrica ideal para o material desmontado numa pega de fogo seria um degrau de Heaviside. Sendo (a) a granulometria desejada do produto final (Figura 34). No entanto a heterogeneidade da rocha a desmontar e os processos de fracturação da mesma, afetam a distribuição do tamanho das partículas (Ouchterlony, 2003), por isso, a distribuição de uma curva granulométrica real aproxima-se à curva representada a castanho na figura 34.

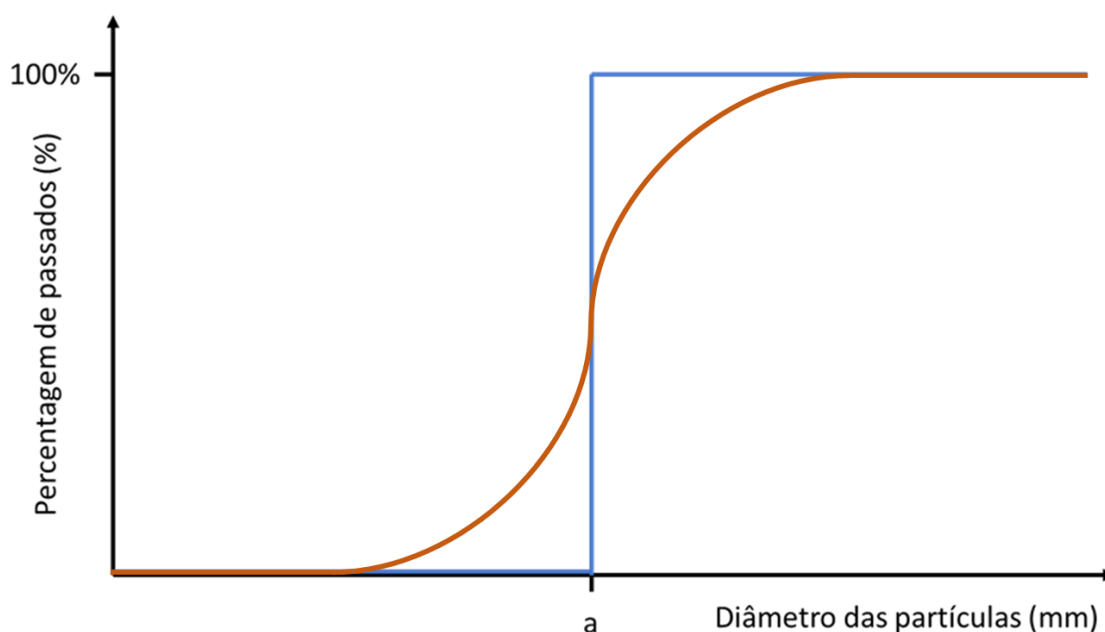


Figura 34 - Representação de uma curva granulométrica real (a castanho) e uma curva granulométrica ideal (a azul)

Para além da classificação granulométrica não existe um método que avalie quantitativamente a fragmentação de uma peça de fogo em condições totalmente fiáveis (Jimeno et al., 2017).

Dado o elevado custo e tempo necessário para obter uma curva granulométrica completa nas operações mineiras, utilizam-se os seguintes métodos aproximados (Jimeno et al., 2017):

- Análise qualitativa visual;
- Métodos fotográficos;
- Métodos fotogramétricos;
- Fotografia ultrarrápida;
- Gravação de imagens com câmaras de vídeo;
- Processamento de imagens digitais;
- Estudo de produtividade do equipamento de carga;
- Volume de material que requiere fragmentação secundária;
- Interrupções por obstruções no britador primário.

6.1 Análise de Imagem Wipfrag

Para fins didáticos foram construídas duas pilhas de material desmontado no CELaMi, com o propósito de determinar as curvas granulométricas através da plataforma Wipfrag.

O software Wipfrag é um processador de imagens digitais, quer com isto dizer que permite quantificar os aspetos geométricos de imagens bidimensionais, tais como a área, número, perímetro, forma tamanho e orientação (Jimeno et al., 2017). As dificuldades encontradas neste método são a dificuldade de definir de forma precisa os contornos das partículas, correção de erros produzidos por sobreposição de partículas, a determinação da terceira dimensão, etc. (Jimeno et al., 2017).

Desenvolvido pela empresa Wipware Inc., este software implementa técnicas de análise de imagens que permite isolar automaticamente os contornos de cada fragmento de rocha (Jimeno et al., 2017). Aplica algoritmos que identificam blocos individuais e permite corrigir a digitalização de cada bloco manualmente (Jimeno et al., 2017).

O programa permite obter uma distribuição tridimensional usando princípios de probabilidade geométrica e, se necessário, uma correção de possíveis finos perdidos, baseada em calibrações empíricas (Jimeno et al., 2017).

A aplicação facilita vários tipos de saídas em função das necessidades, incluindo gráficos de distribuições acumuladas, histogramas e fluxos contínuos, para obter variações na qualidade do produto de forma rápida em períodos distintos (Jimeno et al., 2017).

As fases de análise do programa dividem-se (Jimeno et al., 2017):

1. Captura de imagens através de uma camara fotográfica ou de vídeo;
2. Tratamento da imagem: identificação de blocos, deteção de juntas e edição manual dos resultados, caso seja necessário corrigir erros e aumentar a precisão do tratamento;
3. Métodos de análise: método básico, método calibrado e união de imagens;
4. Análise das imagens: medida das áreas dos fragmentos e reconstrução 2D e 3D.

6.2 Resultados Obtidos

Para a caracterização das duas pilhas de material foram analisadas as seguintes imagens que as representam.

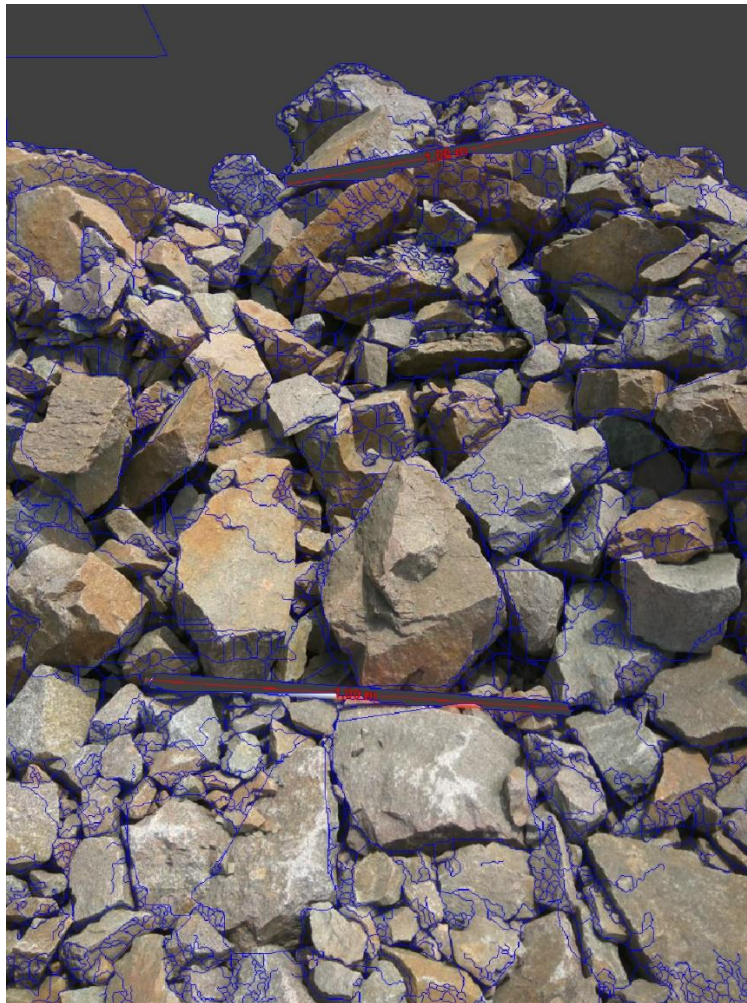


Figura 35 - Imagem da 1ª pilha de material desmontado analisada pelo software Wipfrag

1

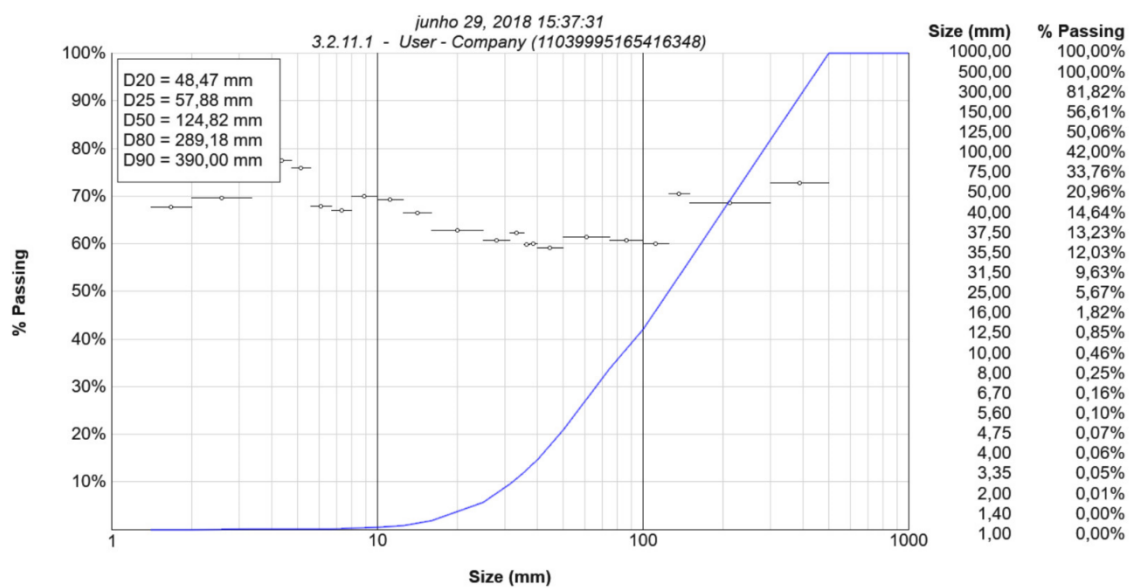


Figura 36 - Curva granulométrica obtida pelo software Wipfrag da 1ª pilha de material desmontado

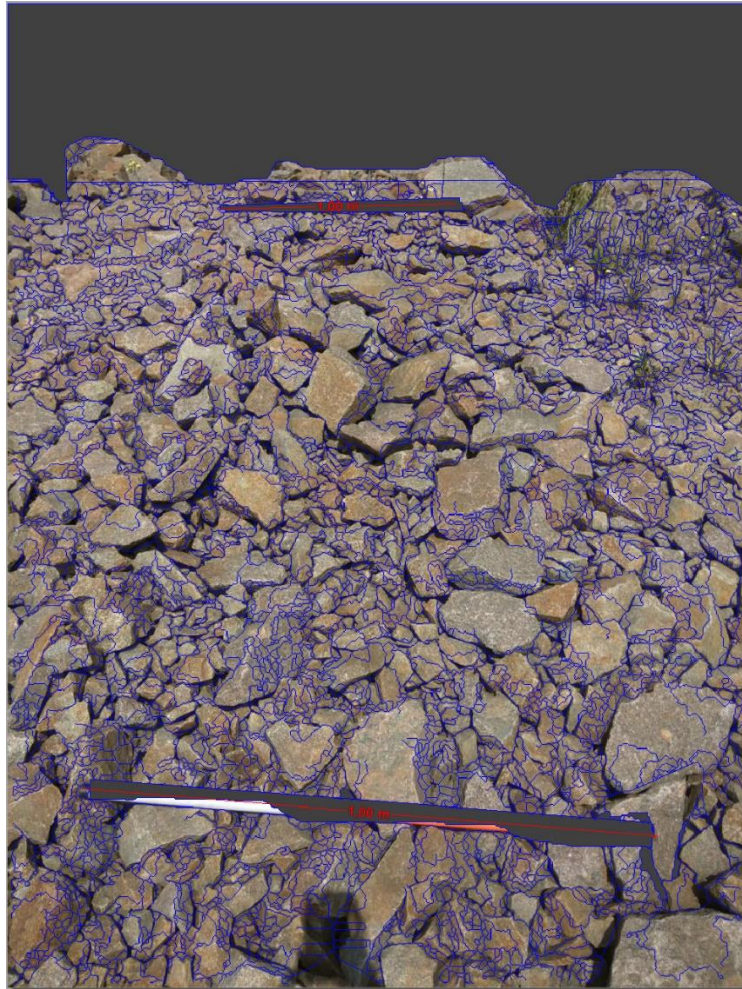


Figura 37 - Imagem da 2ª pilha de material desmontado analisada pelo software Wipfrag

2

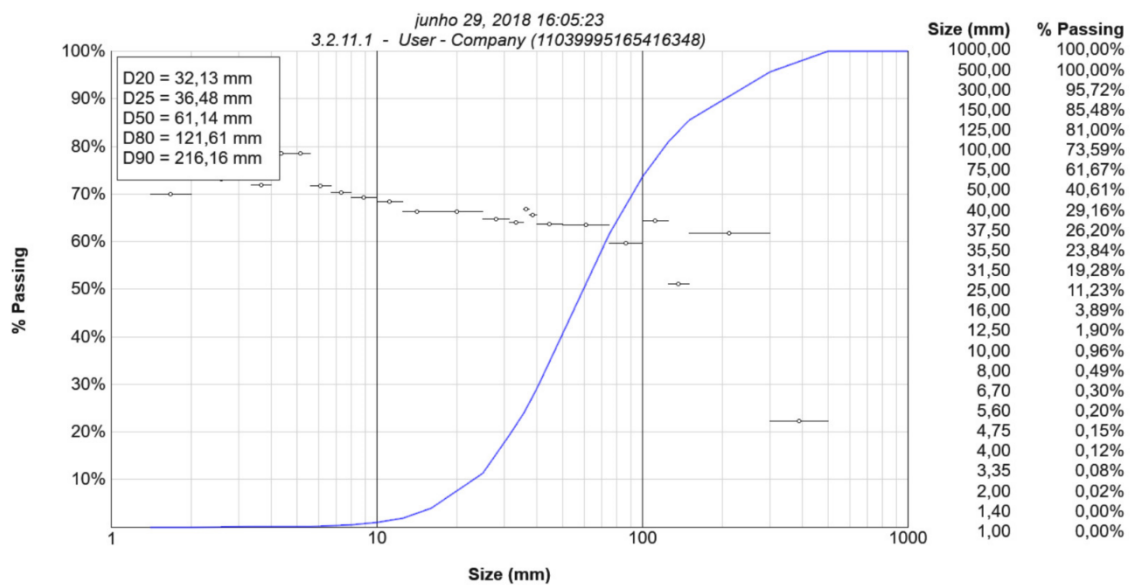


Figura 38 - Curva granulométrica obtida pelo software Wipfrag da 2ª pilha de material desmontado

As curvas obtidas mostram, como é perceptível, nas imagens das pilhas de material desmontado, que estas apresentam granulometrias distintas, sendo a primeira pilha constituída por material mais grosseiro que a segunda pilha.

Devido à inferior quantidade de material que representa a primeira pilha, comparativamente à segunda pilha, a sua curva granulométrica é menos representativa que a curva granulométrica da segunda pilha.

Uma vez que a função principal da pedreira da Madalena, no seu início de produção, foi fornecer agregados para as grandes obras de construção da Região do Grande Porto, o material desmontado presente nas duas pilhas necessitaria de uma fragmentação secundária, uma vez que a sua granulometria não se adequa na sua utilização como material de construção.

Capítulo 7 - Conclusões e Atividades de Complemento dos Temas Abordados

Este trabalho permitiu a aplicação de diversas técnicas e metodologias de caracterização de maciços rochosos, no entanto, apesar de ter sido possível realizar uma simulação de um diagrama de fogo, através da plataforma O-Pitblast, respeitando as condições do maciço rochoso e da campanha de perfuração realizada no CELaMi, e da realização de uma análise granulométrica de duas pilhas de material, através da plataforma Wipfrag, é necessário um complemento destas atividades.

A realização do diagrama de fogo, não permitiu inferir a influência da distribuição de explosivos ao longo do furo nos resultados obtidos, pelo que se recomenda um estudo aprofundado sobre o tema. Também não foi possível quantificar a influência que a inclinação dos furos perfurados tem nos resultados de uma pega de fogo, pelo que se sugere a realização de uma análise de desvios de perfuração ao longo do furo e a sua influência nos resultados obtidos.

A determinação do valor do RQD através do método de Palmström, revela um certo grau de incerteza, pelo que seria interessante a sua definição, comparando o valor obtido com o valor determinado através da recolha de um testemunho de sondagem.

No decorrer deste trabalho foram encontrados obstáculos, que impediram uma melhor caracterização do CELaMi. Uma vez que não é praticável a realização de uma pega de fogo na pedreira da Madalena não foi possível comparar a curva granulométrica estimada, através da plataforma O-Pitblast, com a granulometria do material desmontado. Esta pega de fogo permitiria, também, a aquisição das ondas sísmicas provocadas pelo rebentamento dos explosivos e consequente análise de vibrações, no entanto este estudo pode ser substituído por um estudo geofísico da área que integra o CELaMi.

Capítulo 8 - Código de Conduta e Segurança para o CELaMi

8.1 Enquadramento Legislativo

Este capítulo pretende definir o código de conduta e as normas de segurança para o CELaMi, de modo a prevenir acidentes de trabalho no mesmo.

Para a realização deste Código de Conduta e Segurança, foi necessária a consulta do Decreto-Lei 162/90 de 22 de Maio, que tem por objetivo a prevenção técnica dos riscos profissionais e a higiene nos locais de trabalho onde se desenvolvem atividades que visem a exploração de minas e pedreiras. Foram, também, tidos em conta o Decreto-Lei 324/95 de 29 de Novembro, relativo às prescrições mínimas de segurança e saúde no trabalho a aplicar nas indústrias extrativas e a Portaria 198/96 de 4 de Julho, que regula estas mesmas prescrições nos respetivos locais e postos de trabalho.

8.2 Código de Conduta e Segurança para o CELaMi

1. Cada indivíduo presente no CELaMi deve estar devidamente informado sobre as regras de conduta e segurança, adotar uma postura que promova uma correta organização e prevenção de riscos, usar o equipamento de proteção individual, abster-se de atos que possam originar situações de perigo e comunicar deficiências suscetíveis de provocarem acidentes.
2. Cada indivíduo, antes de entrar no CELaMi, deve ser informado dos riscos existentes. Relativamente ao equipamento de proteção individual, o uso de capacete, botas ou galochas de biqueira de aço e colete refletor é obrigatório e é aconselhado um vestuário adequado às condições atmosféricas e às tarefas definidas.
3. Os trabalhos a executar devem ser planeados antes de entrar no CELaMi e os riscos envolvidos devem ser abordados previamente.
4. A circulação de equipamentos e pessoas na mesma via apenas pode ser autorizada pelo professor ou responsável presente.
5. As medidas de proteção coletiva sobrepõem-se às medidas de proteção individual, por este motivo nenhum indivíduo deve abandonar o grupo.
6. Cada indivíduo tem o dever de propor, sempre que o código de conduta e segurança se revelar desadequado, as alterações que considerem necessárias.

7. No caso de existência de sinalização de segurança, fitas delimitadoras ou blocos utilizados como barreira física devem ser respeitados e não ultrapassados, no caso dos dois últimos.
8. No caso de atividades de perfuração deve ser definido um perímetro de segurança de acordo com o nível de risco envolvido na operação.

Anexado neste trabalho encontra-se o Código de Conduta e Segurança, atualmente em vigor no CELaMi, elaborado pelo Professor Alexandre Leite (Anexo 2).

Referências

- ÁBALOS, B., CARRERAS, J., DRUGUET, E., VIRUETE, J.E., PUGNAIRE, M.T.G., ALVAREZ, S.L., QUESADA, C., FERNÁNDEZ, L.R.R., GIL-IBARGUCHI J.I. (2002). *Variscan and Pre-Variscan Tectonics*. In: GIBBONS, W. & MORENO, M.T. (eds) *The Geology of Spain*. Geological Society, London;
- AGUILERA, D., HERNÁNDEZ, J., TABOADA, J., GONZÁLVEZ, P., LÓPEZ, D., GARCÍA, B., SANZ, I., PEREZ, B., (2012) *3D Modelling and Accuracy Assessment of Granite Quarry using Unmanned Aerial Vehicle*. ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume I-3;
- ALLMENDINGER, R., CARDOZO, N., FISHER, D., (2012) *Structural geology algorithms: Vectors and tensors in structural geology*. Cambridge University;
- ALMEIDA, A., LETERRIER, J., NORONHA, F., BERTRAND, J.M. (1998). *U-Pb zircon and monazite geochronology of the Hercynian two-mica granite composite pluton of Cabeceiras de Basto (Northern Portugal)*. C.R. Acad. Sci. Paris, 326: 779-785;
- ALMEIDA, S., LUZ, A., (2009) *Manual de Agregados para a Construção Civil*. CETEM/MCT. Rio de Janeiro;
- ALONSO, J., GÓMEZ, J., HERBERT, J., (2013) *Perforación y Voladura de Rocas en Minería*. Madrid;
- ANTUNES, I.M.H.R. (2006). *Mineralogia, Geoquímica e Petrologia de rochas granitóides da área de Castelo Branco-Idanha-a-Nova*. Unpublished Ph D. thesis. University of Coimbra, Portugal, 453 pp;
- ARTHAUD, F., MATTE P. (1975). *Les décrochements tardi-hercyniens du sud ouest de l'Europe. Géometrie et essai de reconstruction des conditions de la déformation*. Tectonophysics 25, 139-171;
- ASTM D5873-14 (2014) *Standard Test Method for Determination of Rock Hardness by Rebound Hammer Method*. ASTM International, West Conshohocken, PA;
- AYDIN, A. (2008) *ISRM Suggested Method for Determination of the Schmidt Hammer Rebound Hardness: Revised Version*. In: Ulusay R. (eds) *The ISRM Suggested Methods for Rock Characterization, Testing and Monitoring: 2007-2014*. Springer, Cham;

- AZEVEDO, M.R., VALLE AGUADO, B. (2006). *Origem e Instalação de Granitóides Variscos na Zona Centro-Ibérica*. In: DIAS, R., ARAÚJO, A., TERRINHA, P. e KULLBERG, C., (Eds.), *Geologia de Portugal no contexto da Ibéria*. Univ. De Évora, pp. 107-121;
- AZEVEDO, M.R., VALLE AGUADO, B., NOLAN, J., MARTINS, M., MEDINA, J. (2005). *Origin and emplacement of syn-orogenic Variscan granitoids in Iberia the Beiras massif*. In: CAROSI, R., DIAS, R., IACOPINI, D.; ROSENBAUM, G. (eds.), *The southern Variscan belt*, Journal of the Virtual Explorer, Electronic Edition, ISSN 1441-8142, Volume 19, Paper 7;
- BARTON, N., LIEN, R., LUNDE, J., (1974) *Engineering Classification of Rock Masses for the Design of Tunnel Support*. In *Rock Mechanics and Rock Engineering*;
- BIENIAWSKI, Z., (1973) *Engineering Classification of Jointed Rock Masses*. Transaction of the South African Institution of Civil Engineers;
- BIENIAWSKI, Z., (1974) *Estimating the strength of rock materials*. Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy;
- BRIŠEVAC, Z., HRŽENJAK, P., BULJAN, R., (2016) *Models for estimating uniaxial compressive strength and elastic modulus*. Građevinar;
- BUYUKSAGISA, I., GOKTAN, R., (2006) *The effect of Schmidt hammer type on uniaxial compressive strength prediction of rock*. International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences;
- CALIFORNIA DEPARTMENT OF TRANSPORTATION (2011) *Surveys Manual, Chapter 15: Terrestrial Laser Scanning Specifications*;
- CARDOZO, N., ALLMENDINGER, R., (2013) *Spherical projections with OSXStereonet: Computers & Geosciences*;
- COSTA, J. C., TEIXEIRA, C. (1957). *Notícia explicativa da Carta Geológica de Portugal, Folha 9-C (Porto), escala 1/50000*. Serviços Geológicos de Portugal. Lisboa;
- DALLMEYER, R. D., MARTÍNEZ CATALÁN, J. R., ARENAS, R., GIL IBARGUCHI, J. I., GUTIÉRREZ-ALONSO, G., FARIAS, P., BASTIDA, F., ALLER, J. (1997). *Diachronous Variscan tectonothermal activity in the NW Iberian Massif: evidence from $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating of regional fabrics*. Tectonophysics, 277, 307-337;

DEERE, D. U., (1963) *Technical description of rock cores for engineering purposes*. In *Rock mechanics and engineering geology*. Vienna. Springer;

DEERE, D. U., (1989) Rock quality designation (RQD) after 20 years. U.S. Army Corps of Engineers Contract Report GL-89-1. Washington, DC;

DEERE, D. U., DEERE, D. W., (1989) The Rock Quality Designation (RQD) Index in Practice. American Society of Testing and Materials, Philadelphia;

DEERE, D. U., HENDRON, A., PATTON, F., AND CORDING, E., (1967), *Design of Surface and Near-Surface Construction in Rock*. American Institute of Mining, Metallurgical and Petroleum Engineers, Inc. New York;

DIAS G., NORONHA F., ALMEIDA A., SIMÕES P. P., MARTINS H.C.B., FERREIRA N. (2010). *Geocronologia e petrogénese do plutonismo tardi-varisco (NW de Portugal): síntese e inferências sobre os processos de acreção e reciclagem crustal na Zona Centro-Ibérica*. In: COTELO NEIVA J.M., RIBEIRO A., MENDES VICTOR L., NORONHA F., MAGALHÃES RAMALHO M. (Eds.). *Ciências Geológicas: Ensino, Investigação e sua História, vol. I*, Geologia Clássica, Publicação comemorativa do Ano Internacional do Planeta Terra, 143-160;

DIAS, R., BASILE, C. (2013). *Estrutura dos sectores externos da Zona Sul Portuguesa; implicações geodinâmicas*. In: R. DIAS, A. ARAÚJO, P. TERRINHA, J.C. KULLBERG (Eds), *Geologia de Portugal, Vol. 1*. Escolar Editora, 787-807;

ESTEVES, F. (2006). *As rochas metamórficas da região de Viseu*. Tese de mestrado, Aveiro, 113p;

EVANS, A., RYBKA, R., (2012) *Changing the Face of Quarry Management*. LiDAR Magazine, Vol.2, No.2, Spatial Media;

FERREIRA, N., IGLÉSIAS, M., NORRONHA, F., RIBEIRO, A., RIBEIRO, M. L., (1987). *Granitóides da Zona Centro Ibérica e seu enquadramento geodinâmico*. In: BEA, F., CARNICERO, A., GONZALO, J.C., LÓPEZ PLAZA, M. & RODRIGUEZ ALONSO, M.D. (Eds.) *Geologia de los Granitoides e Rocas Asociadas del Macizo Hespérico*, Editorial Rueda, Madrid, 37-51;

FILIPOVA, S., FILIPOV, D., RAEVA, P., (2016) *Creating 3D Model of an Open Pit Quarry by UAV Imaging and Analysis in GIS*. Proceedings, 6th International Conference on Cartography and GIS, 13-17 June 2016. Albena, Bulgaria;

GÜNEY, A., ALTINDAĞ, R., YAVUZ, H., SARAÇ, S., (2005) *Evaluation of the Relationships between Schmidt Hardness Rebound Number and Other (Engineering) Properties of Rocks*. The 19th International Mining Congress and Fair of Turkey;

HERITAGE, G.L. AND LARGE, A.R.G. (2009) *Laser scanning for the Environmental Sciences*. Chichester;

HEUTGER, M., KÜCKELHAUS, M. (2014) *UNMANNED AERIAL VEHICLE IN LOGISTICS: A DHL perspective on implications and use cases for the logistics industry*. DHL Customer Solutions & Innovation. Troisdorf, Germany;

HEUZÉ, F., (1971) *Sources of errors in rock mechanics field measurements, and related solutions*. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences;

HUSTRULID, W. (1999). *Blasting Principles for Open Pit Mining*. Rotterdam: Balkema;

INSTITUTO GEOLÓGICO E MINEIRO (1999). *Regras de Boa Prática no Desmonte a Céu Aberto*;

INTERNATIONAL SOCIETY FOR ROCK MECHANICS (2015) *The ISRM Suggested Methods for Rock Characterization, Testing and Monitoring: 2007-2014*. Springer International Publishing Switzerland;

JIMENO, C., JIMENO, E., BERMÚDEZ, P., (2017) *Manual de Perforación, Explosivos y Voladuras: Minería y Obras Públicas*. Universidad Politécnica de Madrid, Grupo de Proyectos de Ingeniería;

JULIVERT, M., FONTBOTÉ, J. M., RIBEIRO, A. & CONDE, L. E. N. (1974). *Mapa Tectónico de la Península Ibérica y Baleares, Escala 1:1000.000. Memoria Explicativa*. Instituto Geologico y Minero de España, Madrid;

KONSTANTINOS, D., VALAVANIS, K., PIEGL, L. (2012) *On Integrating Unmanned Aircraft Systems into the National Airspace System: Issues, Challenges, Operational Restrictions, Certification, and Recommendations*. Springer Netherlands;

LEITE, A., (2017) *Código de Conduta e Segurança para o CELaMi*;

LIMA, C., MENEZES, J., GOMES, A., (2012) *Textos de apoio de Geologia de Engenharia*. FEUP;

LNEG, 2010. *Carta Geológica de Portugal na escala 1: 1000000*, 3ªed, LNEG, Lisboa;

LUCIAN, C., WANGWE, E., (2013), *The Usefulness of Rock Quality Designation (RQD) in Determining Strength of the Rock*, International Refereed Journal of Engineering and Science (IRJES), Vol. 2, No. 9, pp. 36-40;

MARQUES, F., MATEUS, A., TASSINARI, C. (2002). *The late-Variscan fault network in central-northern Portugal (NW Iberia): a re-evaluation*. Tectonophysics, 359, 255-270;

MARTÍNEZ CATALÁN, J.R., ARENAS, R., DÍAZ GARCÍA, F., GÓMEZ-BARREIRO, J., GONZÁLEZ CUADRA, P., ABATI, J., CASTIÑEIRAS, P., FERNÁNDEZ-SUÁREZ, J., SÁNCHEZ MARTÍNEZ, S., ANDONAEGUI, P., GÓNZALEZ CLAVIJO, E., DÍEZ MONTES, A., RUBIO PASCUAL, F.J., VALLE AGUADO, B. (2007). *Space and time in the tectonic evolution of the northwestern Iberian Massif. Implications for the comprehension of the Variscan belt*. In: HATCHER, R.D., JR., CARLSON, M.P., MCBRIDE, J.H. AND MARTÍNEZ CATALÁN, J.R. (Eds.), *4-D framework of continental crust*. Geological Society of America memoir, 200: 403-423;

NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION (NOAA) COASTAL SERVICES CENTER, (2012) *Lidar 101: An Introduction to Lidar Technology, Data, and Applications*. Charleston;

NAUMANN, M., GEIST, M., BILL, R., NIEMEYER, F., GRENZDÖRFFER, G., (2013) *Accuracy Comparison of Digital Surface Models Created by Unmanned Aerial Systems Imagery and Terrestrial Laser Scanner*. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Rostock, Germany;

NEWCOME, L. (2004) *Unmanned Aviation: A Brief History of Unmanned Aerial Vehicles*. 2ª Edição, American Institute of Aeronautics and Astronautics. Estados Unidos da América;

OEN, Y.S. (1970). *Granite intrusion, folding and metamorphism in central northern Portugal*. Bol. Geol. Minero, LXXXI, II-III, 271-298;

OUCHTERLONY, F., (2003) Influence of blasting on the size distribution and properties of muckpile fragments, a state-of-the-art review. Swebrec, Luleå University of Technology;

PALMSTRÖM, A., (1995) *Methods to quantify the parameters applied in the RMI*. In *RMI - a rock mass characterization system for rock engineering purposes*. PhD thesis, Oslo University, Norway;

PALMSTRÖM, A., (1995) *Measurement and Characterization of Rock Mass Jointing*. In *In-Situ Characterization of Rocks*;

PAMPLONA, J. (2001). *Tectónica do antiforma de Viana do Castelo - Caminha (ZCI); regime de deformação e instalação de granitóides*. Tese de Doutoramento, Universidade do Minho, Portugal, 191 pp;

PEREIRA, E., MIRANDA, H., LEITE, A. (2000). *Caracterização Geológico/Estrutural da Pedreira Quinta do Moinho*. Dep. Minas, FEUP;

PEREIRA, Z., MEIRELES, C., PEREIRA, E. (1999). *Upper Devonian palynomorphs of the NE sector of Trás-os-Montes (Central Iberia Zone)*. XV Reunión de Geología del Oeste Peninsular - International Meeting on Cadomian orogens, Badajoz, 201-206;

PÓVOA, P., (2014) *Extração automática de elementos em fotografia aérea por fotogrametria*. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Informática, Universidade Nova de Lisboa;

PROCEQ (2014) *Instruções de Operação Rock Schmidt*. Switzeland;

REDWEIK, P., (2018). *Fotogrametria Aérea*. Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa;

REIS, P., (2016) *Otimização de Parâmetros Geométricos em Diagramas de Fogo para Desmonte a Céu Aberto*. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto;

REY, P., (2016) *Introduction to Structural Geology*. University of Sydney;

RIBEIRO, A. (1974). *Contribution à l'étude tectonique de Trás-os-Montes oriental*. Mem. n° 24 (NS), Serv. Geol. Port., Lisboa, 177 p;

RIBEIRO, A. (1979). *Introduction à la géologie du Portugal*, 26° Congresso Geológico Intercional (em impressão);

RIBEIRO, A. (2002). *Soft Plate Tectonics*, Springer Verlag, Berlin. 323p.

RIBEIRO, A., MUNHÁ, J., DIAS, R., MATEUS, A., PEREIRA, E., RIBEIRO, M.L., FONSECA, P. E., ARAÚJO, A., OLIVEIRA, J. T., ROMÃO, J., CHAMINÉ, H., COKE, C. & PEDRO, J. C. (2007). *Geodynamic evolution of SW Europe Variscides, Tectonics*, Vol . 26, n° 6, TC6009, doi:10.1029/2006TC002058;

RIBEIRO, A., PEREIRA, E., DIAS, R. (1990). *Structure in the Northwest of the Iberian Peninsula*. In R.D. DALLMEYER E E. MARTÍNEZ GARCÍA (Eds.), *Pre-Mesozoic Geology of Iberia*. Springer-Verlag, Berlim, 220-236;

RIBEIRO, A., PEREIRA, E., SEVERO, L. (1980). *Análise da deformação na zona de cisalhamento Porto-Tomar na transversal de Oliveira de Azeméis*. Comun. Serv. Geol. Portugal 66, 33-48;

SALVINI, R., MASTROROCCHO, G., SEDDAIU, M., ROSSI, D., VANNESCHI, C., (2016) *The use of an unmanned aerial vehicle for fracture mapping within a marble quarry (Carrara, Italy): photogrammetry and discrete fracture network modelling*. Department of Environment, Earth and Physical Sciences and Centre of GeoTechnologies CGT, University of Siena, San Giovanni Valdarno, Italy;

SANT'OVAIA, H., RIBEIRO, M. A., MARTINS, H. C. B., FERRÃO, F., GOMES, C., NORONHA, F. (2014). *Estruturas e fabric magnético no maciço granítico de Lavadores-Madalena Comunicações Geológicas 101, Especial I, 313-317*;

SHAHBAZI, M., SOHN, G., THÉAU, J., MENARD, P., (2015) *Development and Evaluation of a UAV-Photogrammetry System for Precise 3D Environmental Modeling*. Sensors;

SOMINCOR (2017) *Regras de segurança para visitas guiadas*;

TWISS, R., MOORES, E., (1992). *Structural geology*. W.H. Freeman, New York;

VALLE AGUADO, B., AZEVEDO, M.R., NOLAN, J. & MARTINEZ CATALÁN, J.R. (2007). *Extensão varisca D2 na cintura metamórfica de Porto-Viseu: dados geocronológicos $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$* . XV Semana de Geoquímica e VI Congresso Ibérico de Geoquímica, Vila Real, 2007. Livro de Resumos, 106, CD-ROM, 166-169;

VALLE AGUADO, B., AZEVEDO, M.R., SCHALTEGGER, U., MARTÍNEZ CATALÁN, J., NOLAN, J. (2005). *U-Pb zircon and monazite geochronology of Variscan magmatism related to syn-convergence extension in Central Northern Portugal*. Lithos 82: 169-184;

VOSSELMANN, G. AND MAAS, H.-G. (2010) *Airborne and terrestrial laser scanning*.
Dunbeath;

WATTS, A., AMBROSIA, V., HINKLEY, E., (2012) *Unmanned Aircraft Systems in Remote Sensing and Scientific Research: Classification and Considerations of Use*. Remote Sensing;

WIPWARE (2017) Sampling and Analysis Guide.

Anexos

Anexo 1



2ª Adenda ao Protocolo de Colaboração

A Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, enquanto Unidade Orgânica da Universidade do Porto - fundação pública com regime de direito privado, com o NIF 501413197, dotada de autonomia administrativa, sita na rua Dr. Roberto Frias, s/n, 4200-465 Porto, com o número de identificação de pessoa coletiva 600027716, representada pelo Professor Doutor João Bernardo de Sena Esteves Falcão e Cunha, na qualidade de Diretor, com poderes para o ato, abreviadamente designada por FEUP

E

SOLUSEL - Sociedade Lusitana de Obras e Empreitadas, Lda, pessoa coletiva nº 500272476, com sede em Avenida Conselheiro Fernando de Sousa, 19 - 13º, 1070-072 Lisboa, matriculada na Conservatória do Registo Comercial de Lisboa com o nº 57953, com o capital social de 3000.000,00 €, aqui representada pelo seu Gerente Engenheiro José Cardoso Guedes abreviadamente designada por SOLUSEL

Entre as Partes acima identificadas é celebrada e reciprocamente aceite a presente Adenda ao Protocolo de Colaboração já existente, nos termos que se seguem:

Cláusula Primeira

1. Nos termos no estipulado na Cláusula 5ª do Protocolo de Colaboração entre a FEUP e a SOLUSEL, e tendo em consideração a Adenda ao Protocolo que determinou a renovação do mesmo até 01 de maio de 2017, as Partes acordam a renovação do mesmo, em vigor desde 2 de maio de 2011.
2. Esta renovação produz efeitos desde 2 de maio de 2017 e vigorará por 3 anos a contar desta data, isto é até 01 de maio de 2020.

Cláusula Segunda

1. As Partes acordam acrescentar à Cláusula 3ª do Protocolo a seguinte ação a empreender:
 - Implementação de um Campo Experimental em Lavra de Minas (CELaMi) na Pedreira da Quinta do Moinho nº 2, propriedade da SOLUSEL.
2. Esta alteração produz efeitos a contar da data de assinatura da presente Adenda.

Feita em 26 de abril de 2017, em dois exemplares, ambos originais, ambos iguais, destinando-se um a cada uma das Partes.

Pela FEUP,

(Professor Doutor
João Bernardo de Sena Esteves Falcão e Cunha)

Pela SOLUSEL,

(Engenheiro/Gerente
José Cardoso Guedes)

Adenda ao Protocolo de Colaboração

A Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, enquanto Unidade Orgânica da Universidade do Porto - fundação pública com regime de direito privado, com o NIF501413197, dotada de autonomia administrativa, sita na Rua Dr. Roberto Frias, s/n, 4200 - 465, Porto, com o número de identificação de pessoa coletiva (NIPC) 600027716, representada pelo Professor Doutor Sebastião José Cabral Feyo de Azevedo, na qualidade de Diretor, com poderes para o ato, abreviadamente designada por FEUP

E

Solusel-Sociedade Lusitana de Obras e Empreitadas, Lda, pessoa coletiva nº 500272476, com sede em Avenida Conselheiro Fernando de Sousa, 19-13º. - 1070-072 Lisboa, matriculada na conservatória do registo comercial de Lisboa com o nº. 57953, com o capital social de 300.000,00 €, aqui representada pelo seu Gerente Engº. José Cardoso Guedes abreviadamente designada por Solusel


Entre as partes acima identificadas é celebrada e reciprocamente aceite a presente Adenda, nos termos que se seguem:

Cláusula Única

1. Nos termos do estipulado na Cláusula 5.ª do Protocolo de Colaboração entre a FEUP e a Solusel, as Partes acordam a renovação do mesmo, em vigor desde 2 de maio de 2011.
2. Esta renovação produz efeitos retroativos desde 2 de maio de 2014 e vigorará por 3 anos a contar dessa data, isto é, até 1 de maio de 2017.

Feita em 15 de maio de 2014, em dois exemplares, ambos originais, destinando-se um a cada uma das partes.

Pela FEUP,



(Prof. Sebastião Feyo de Azevedo - Diretor)

Pela Solusel



(Engº. José Cardoso Guedes - Gerente)

Protocolo de Colaboração

Entre:

UNIVERSIDADE DO PORTO, Fundação Pública com regime de direito privado, com o NIF 501413197, através da sua Unidade Orgânica Faculdade de Engenharia, esta dotada de autonomia administrativa, sita na Rua Dr. Roberto Frias, s/n, 4200 - 465, Porto, com o número de identificação de pessoa colectiva (NIPC) 600027716, representada pelo Professor Doutor Sebastião José Cabral Feyo de Azevedo, na qualidade de Director, com poderes para o acto, abaixo abreviadamente designada por FEUP;

E

SOLUSEL - Sociedade Lusitana de Obras e Empreitadas, Lda., pessoa colectiva com o n.º 500 272 476, com sede na Av. Conselheiro Fernando de Sousa, 19-13º - 1070-072 Lisboa, matriculada na conservatória do registo comercial de Lisboa com o n.º 57953, com o capital social de € 300.000,00 (trezentos mil euros), aqui representada pelo Engenheiro João Filipe do Nascimento Fernandes, abaixo abreviadamente designada por SOLUSEL.

1. Introdução

A FEUP e a empresa SOLUSEL, acima identificadas, consideram de muito interesse promover o reforço da cooperação técnico-científica entre as duas instituições, pelo que, através dos seus legítimos representantes, celebram o presente Protocolo.

2. Objectivos

Considerando:

- a necessidade de promoção da aproximação entre o meio universitário e a realidade empresarial;
- a necessidade de desenvolver mecanismos de cooperação que tornem possível, e promovam, a participação conjunta em actividades de carácter técnico-científico e de investigação;
- A especificidade da Indústria extractiva e a importância da optimização dos processos produtivos;
- O potencial de impactes ambientais derivados das actividades industriais;
- A necessidade de identificar de forma sistemática e, numa perspectiva holística, os perigos ocupacionais no conjunto das actividades desenvolvidas;

as partes comprometem-se a colaborar entre si, tendo em vista a prossecução dos seguintes objectivos gerais:

- Colaborar a longo prazo no campo da investigação;
- Estabelecer mecanismos de cooperação que tornem possível a participação conjunta em projectos e estudos;
- Contribuir para desenvolver, no universo industrial, através dos projectos em que a Empresa participe, uma cultura de inovação e de cooperação, factores decisivos para a competitividade;



- Desenvolver formas inovadoras para o aumento da produtividade/competitividade da empresa no mercado global;
- Optimizar processos que permitam aumentar a qualidade do serviço e a imagem da Empresa nos mercados;
- Contribuir para o bem-estar dos colaboradores através da implementação de políticas e medidas tecnicamente eficazes e economicamente sustentáveis.

3. Acções a empreender

A colaboração proposta será desenvolvida de acordo com as possibilidades de cada instituição e efectuada através de:

- Realização de projectos de investigação;
- Realização de visitas de estudo às Pedreiras da SOLUSEL, pelos alunos e investigadores da FEUP;
- Realização de estágios de integração na vida activa de jovens graduados pela FEUP;
- Participação mútua em seminários, workshops e iniciativas públicas;
- Participação em acções de formação;
- Cooperação em cursos de especialização e de pós-graduação, nomeadamente tendo em vista uma aproximação à realidade empresarial envolvente;
- Colaboração na execução de projectos específicos;
- Participação em projectos de divulgação da engenharia junto dos jovens;
- Realização de medições de parâmetros ocupacionais e ambientais nas instalações e equipamentos das Pedreiras da SOLUSEL;
- Levantamento de perigos e avaliação de riscos associados ao processo produtivo nas Pedreiras da SOLUSEL.

4. Gestão do protocolo

A gestão do protocolo será assegurada por um representante nomeado por cada uma das instituições que terá como missão ser o interlocutor privilegiado para as relações entre as instituições. Fica desde já designado, por parte da FEUP o Prof. João Manuel Abreu dos Santos Baptista e por parte da SOLUSEL o Engenheiro João Filipe do Nascimento Fernandes.

5. Duração, alteração e denúncia do protocolo

Este Protocolo terá a duração de 3 (três) anos, podendo ser renovado por iguais períodos, mediante acordo expresso das partes nesse sentido. Este acordo configurará uma adenda ao presente Protocolo.

Poderá ainda ser revogado em qualquer momento, mediante expresso acordo mútuo ou por qualquer das partes, dentro do princípio da boa-fé, quando ocorra situação que deva considerar-se justa causa de resolução, mediante prévia comunicação escrita.

Durante a vigência do protocolo poderão ser introduzidas alterações, as quais, efectuadas mediante expresso acordo mútuo e após formalização, passarão a ser parte integrante do Protocolo.

6. Acções de cooperação específica

As partes estabelecem que, cada projecto/acção específica a desenvolver será definido/a e detalhado/a, no que respeita aos objectivos, encargos, mecanismos e prazos, através de documentos complementares que farão parte deste protocolo sob a forma de anexos.

7. Confidencialidade

Cada uma das partes compromete-se a não difundir, sob qualquer forma, as informações científicas e técnicas, ou de qualquer outro âmbito, pertencentes à outra parte, enquanto para tal não esteja autorizada, ou enquanto tais informações não sejam do domínio público.

8. Resolução de conflitos

As partes comprometem-se a resolver, de forma amigável, qualquer litígio que possa surgir da execução do presente protocolo.

9. Interpretação

As dúvidas suscitadas pela aplicação das regras deste Protocolo serão esclarecidas e interpretadas de comum acordo, dentro do princípio geral da interpretação mais favorável à prossecução das finalidades expressas.

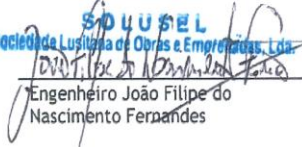
Porto e FEUP, 02...de MAIO.....de 2011

Pela FEUP,


Prof. Doutor Sebastião Feyo de Azevedo

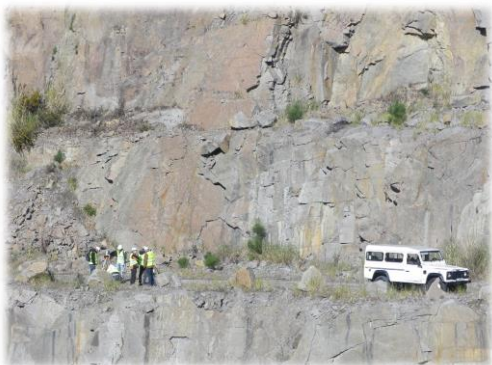
Director da FEUP

Pela SOLUSEL,


SOLUSEL
Sociedade Lusitana de Obras e Empreendimentos, Lda
Engenheiro João Filipe do
Nascimento Fernandes

Anexo 2

NENHUM TRABALHO É TÃO IMPORTANTE QUE NÃO POSSA SER REALIZADO DE FORMA SEGURA



FEUP - DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MINAS

FEUP - DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MINAS CAMPO EXPERIMENTAL EM LAVRA DE MINAS CELaMi

CÓDIGO DE CONDUTA E SEGURANÇA

Serve o presente Código para ser lido em voz alta imediatamente antes de um grupo de pessoas aceder ao CELaMi, com o intuito de sensibilizar os presentes para a importância da segurança coletiva e individual durante a permanência neste Campo Experimental.

1 - O primeiro e principal responsável pela sua segurança é você próprio.

2 - Cada visita ao CELaMi terá obrigatoriamente um responsável e todos os presentes devem prestar atenção às instruções e recomendações de segurança que este for emitindo.

3 - Todos aqueles que acederem ao CELaMi devem ser portadores, obrigatoriamente, dos Equipamentos de Proteção Individual (EPI's) - capacete, colete refletor, botas ou galochas de biqueira de aço.



4 - Em situação alguma se deve afastar do grupo. Se por qualquer razão tiver de abandonar o local onde decorre a visita, deve comunicar essa necessidade ao responsável da mesma que providenciará condições para tal abandono.

5 - Durante o tempo em que estiver no ambiente da Pedreira onde se situa o CELaMi, deverá manter elevados índices de atenção a si mesmo e a todos os presentes, no que diz respeito a tudo o que possa colocá-lo, a si ou aos outros, em perigo.



6 - Não caminhe demasiado próximo de outras pessoas, evitando choques, tropeções e quedas.



CAMPO EXPERIMENTAL EM LAVRA DE MINAS

CELaMi

CÓDIGO DE CONDUTA E SEGURANÇA



Versão nº 1 - abril de 2017

FEUP - DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MINAS CAMPO EXPERIMENTAL EM LAVRA DE MINAS

7 - Mantenha a atenção a viatura(s) em movimento que se aproximem de si. Nestas circunstâncias deve parar em local que permita a passagem da(s) viatura(s) mantendo-se visível para o(s) condutor(es) da(s) mesma(s).



8 - Nunca se aproxime demasiado das bermas de pistas e bancadas. Cada talude possui alturas demasiado elevadas e quedas nestes serão fatais.

9 - Mantenha atenção aos taludes próximos ao seu percurso, nomeadamente para blocos instáveis limitados por fraturas e falhas.



10 - Respeite a sinalização de fitas delimitadoras de segurança nas bancadas do CELaMi.

Em nenhuma circunstância as deve ultrapassar.



11 - Minimizar percursos sobre material solto, mantendo apurada atenção aos locais que pisa, evitando o risco de tropeçar.

12 - Se a deslocação ao CELaMi tiver como objetivo observar atividades de perfuração, nunca se deve aproximar demasiado da máquina perfuradora em funcionamento e deverá ser portador de auriculares que minimizem a receção de ruído nos ouvidos.



13 - Durante atividades de observação de frentes livres, para recolha de dados de atitudes de planos de fratura, deve manter cuidada atenção à parte superior do talude relativa à sua posição, nomeadamente a blocos que possam estar instáveis. No caso de clara instabilidade observada, deve abandonar de imediato essa posição e comunicar ao responsável da visita o observado.

14 - Qual dúvida ou questão que lhe surja, nomeadamente no que diz respeito à segurança individual e/ou coletiva, de imediato deve colocá-la ao responsável da visita.